Peter Schneider

Vergleich von Entwurfsvarianten einer zweischiffigen Industriehalle aus Stahl mit zwei übereinander angeordneten Kranen nach statischen, konstruktiven und wirtschaftlichen Aspekten

eingereicht als

BACHELORARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Maschinenbau
Fachgruppe Stahl- und Metallbau

Mittweida, 2011

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs
Zweiprüfer: Dipl. Ing. Horst Hobler

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Schneider, Peter:
Vergleich von Entwurfsvarianten einer zweischiffigen Industriehalle aus Stahl mit zwei übereinander angeordneten Kranen nach statischen, konstruktiven und wirtschaftlichen Aspekten. - 2011. - 221 S.
Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2011

Referat:
Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Ermittlung des Stahlbedarfes der Haupttragelemente – Stützen, Riegel, Kranbahnträger und Kranbahnträgerkonsolen – einer zweischiffigen Industriehalle aus Stahl, die mit zwei übereinander angeordneten Brückenlaufkranen ausgerüstet ist, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rahmenabstände und variierender Traglasten der Krane. Des weiteren erfolgt die Erläuterung der Berechnungen der Kräfte infolge Kranbetrieb sowie die erforderlichen Nachweise für Kranbahnträger. Ebenso werden die Normen zur Auslegung von Hallentragwerken aus Stahl sowie die erforderlichen Nachweise zur Berechnung von Hallenrahmen dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Hallentragwerke sind aus unseren heutigen Industrie- und Gewerbegebieten nicht mehr wegzudenken. Für Lager- und Produktionshallen etc. sind architektonische Belange oft nebensächlich. Hauptaugenmerk ist meist die erforderliche Lager- oder Produktionsfläche, die den Anforderungen an die geplante Nutzung der Halle entsprechen muss, möglichst kostengünstig vor Witterungseinflüssen zu schützen. In Zeiten stark steigender Rohstoffpreise gewinnt die Materialeinsparung bei der Konstruktion immer mehr an Bedeutung, um dem Anspruch an preiswertes Bauen gerecht zu werden.

Konstruktiv können die Tragstrukturen einer Halle, unter Berücksichtigung des zu verwendenden Baustoffs – Stahl, Stahlbeton oder Holz – auf unterschiedlichste Weise realisiert werden. In der Praxis werden für die Haupttragelemente von Stahlbetonkonstruktionen vor allem Stützen und Binder eingesetzt, wohingegen bei Stahlkonstruktionen Rahmen Verwendung finden. Dies ist in der relativ einfachen Ausbildung von biegesteifen Trägerverbindungen begründet.

Zu den typische Einwirkungen auf die Tragstrukturen kommen, neben den Eigengewichten aus den Tragelementen selbst, der Hüllkonstruktion sowie den Wind- und Schneelasten, häufig zusätzliche Belastungen aus der technischen Ausrüstung der Hallen. Die Nutzung der Halle erfordert meist die Installation von Beleuchtungseinrichtungen, Klimatechnik, usw.. Insbesondere bei Produktionshallen kommt darüber hinaus noch der Einbau von Krananlagen hinzu.

Es gibt zahlreiche Bauarten von Krananlagen, wobei häufig Brückenlaufkrane eingesetzt werden. Die Ableitung der Lasten von Brückenlaufkrane erfolgt über Kranbahnträger, die meist auf Konsolen, angeschlossen an die Hallenstützen, gelagert sind.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Ausgangspunkt der Arbeit ist eine zweischiffige Industriehalle aus Stahl die mit zwei übereinander angeordneten Kranen ausgerüstet ist. Zielstellung ist die Ermittlung des Stahlbedarfes der Haupttragelemente – Stützen, Riegel, Kranbahnträger und Kranbahnträgerkonsolen – unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rahmenabstände und variierender Traglasten der Krane. Des weiteren erfolgt die Erläuterung der Berechnung der Kräfte infolge Kranbetrieb sowie die erforderlichen Nachweise für Kranbahnträger. Ebenso werden die Normen zur Auslegung von Hallentragwerken aus Stahl sowie die erforderlichen Nachweise zur Berechnung von Hallenrahmen dargestellt.

1.3 Abgrenzung

Die Tragstruktur der zu untersuchenden zweischiffigen Halle mit einer Spannweite von 2 x 19 m und einer Länge von 60 m ist ein „3-stieliger Rahmen“, dessen Stützenfüße als Festlager ausgebildet sind. Die Ermittlung des Stahlbedarfs erfolgt für die Rahmenabstände 5 m, 6 m und 7 m. Für die Haupttragelemente werden Walzprofile (DIN EN 10034) in der Stahlsorte S235 (DIN EN 10025-2) verwendet.
In dieser Arbeit wird ausschließlich auf die Kranbauart „Brückenlaufkran“ eingegangen. Es wird der Einfluss von Brückenlaufkranen mit 2 t, 5 t, 10 t und 16 t Traglast auf die Haupttragelemente untersucht.
Für die Berechnung der Kräfte infolge Kranbetrieb von Brückenlaufkranen wird die DIN 1055-10 vorgestellt. Die Vorgehensweise zur Berechnung von Kranbahnträger erfolgt mit der DIN 4132 mit der Anpassungsrichtlinie Stahlbau. Das Hallentragwerk wird mit der Normenreihe DIN 18800 nachgewiesen und für die Ermittlung der Einwirkungen aus Wind und Schnee wird auf die Normenreihe DIN 1055 zurückgegriffen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Kranbahnträger von Brückenlaufkranen

Im folgenden Kapitel werden die Normen zur Berechnung von Kräften infolge Kranbetrieb von Brückenlaufkranen sowie von Kranbahnträgern erläutert.

2.1.1 Normen für die Berechnung von Kranbahnträgern

Die Berechnung von Kranbahnträgern ist in der DIN 4132 mit der Anpassungsrichtlinie Stahlbau aus dem Jahr 1995 geregelt. Durch die Anpassungsrichtlinie Stahlbau wurde die DIN 4132, basierend auf dem alten Sicherheitskonzept der zulässigen Spannungen, in das neue Sicherheitskonzept überführt. Alle Tragsicherheitsnachweise, ausgenommen des Betriebsfestigkeitsnachweises, sind nun mit dem neuen semiprobabilistischen Sicherheitskonzept zu führen.
Einwirkungen auf Kranbahnen infolge der Kranbrücke können derzeit entweder nach der noch gültigen DIN 15018 Teil 1 oder nach der noch nicht bauaufsichtlich eingeführten - aber im Weißdruck vorliegenden - DIN 1055-10 berechnet werden. Die Berechnung der Einwirkungen nach DIN 1055-10 entspricht in den aller meisten Punkten denen der DIN 15018 Teil 1.
Neben den Einwirkungen der Kranbrücke auf den Kranbahnträger sind weitere Einwirkungen der DIN 1055 gegebenenfalls zu berücksichtigen.

2.1.2 Kräfte infolge Kranbetrieb

In diesem Kapitel werden folgende Themen dargestellt:

(1) Fahrwerksysteme von Brückenlaufkranen (Seite 3)
(2) Antriebskraft K – DIN 1055-10 Kap. 5.7.3 (Seite 4)
(3) Horizontale Lasten längs und quer zur Fahrbahn aus Beschleunigen und Bremsen von Kranen – DIN 1055-10 Kap. 5.7.2 (Seite 5)
(4) Horizontale Seitenlasten und Führungskraft infolge Schräglauf von Kranen – DIN 1055-10 Kap. 5.7.4 (Seite 7)
(5) Pufferkräfte (Seite 10)

(1) Fahrwerksysteme von Brückenlaufkranen

Die Definition des Kranfahrwerksystems erfolgt durch den Achstyp und die Radlagerung. Es wird zwischen folgenden Achstypen unterschieden:

- Einzelradantrieb: Jedes Rad der Antriebsachse wird durch einen eigenen Motor angetrieben (keine Drehzahlkopplung der Räder untereinander).
- Zentralantrieb: Die Räder der Antriebsachse werden gemeinsam von einem Antrieb bewegt (die Räder sind drehzahlgekoppelt).

Als Radlagerung ist das Fest- und das Loslager in Achslängsrichtung definiert:

- Festlager: Kräfte quer zur Fahrtrichtung werden weitergeleitet.
- Loslager: Die Räder in Achslängsrichtung sind beweglich montiert und können somit nur vertikale Kräfte weiterleiten.

Die Unterschiede in der Nomenklatur zu den Fahrwerkssystemen in der DIN 4132 und der DIN 1055-10 werden im Folgenden gegenübergestellt.

DIN 4132	DIN 1055-10	Bedeutung
EFF	IFF	Einzelradantrieb/Festlager/Festlager
EFL	IFM	Einzelradantrieb/Festlager/Loslager
WFF	CFF	Zentralantrieb/Festlager/Festlager
WFL	CFM	Zentralantrieb/Festlager/Loslager

Tabelle 1: Bezeichnung von Fahrwerksysteme

Quelle: Eigene Darstellung

Die Räder des Kranfahrwerkes übertragen unterschiedliche Kräfte infolge Kranbetrieb und müssen deshalb einzeln definierbar sein. Der Index i kennzeichnet den Kranbahnträger auf dem das Rad steht. Die Beschreibung der Achse erfolgt mit dem Index j.

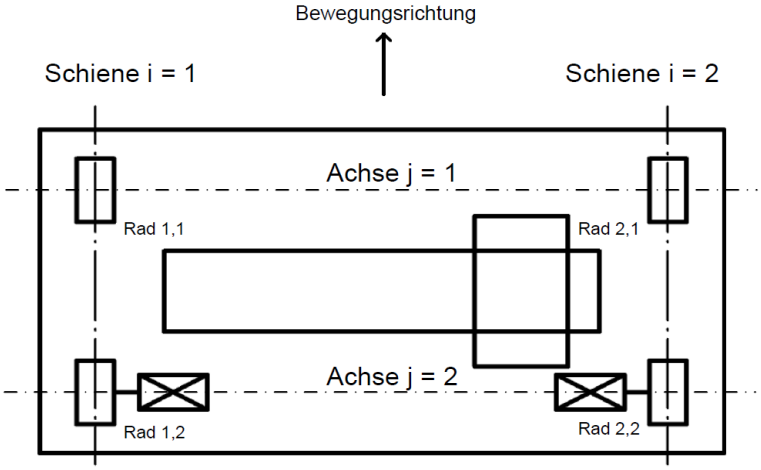


Abbildung 1: Radbezeichnung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an DIN 1055-10:2004-07 Bild 7

(2) Antriebskraft K – DIN 1055-10 Kap. 5.7.3

„Die Antriebskraft K eines angetriebenen Rades sollte so bemessen werden, dass ein Durchrutschen der Räder verhindert wird“[1] und somit der Verschleiß am angetriebenen Rad und der Kranbahnschiene möglichst begrenzt wird.

Die Antriebskraft errechnet sich entweder aus dem Produkt des Reibungsbeiwertes μ zwischen Rad und Schiene und

- der minimalen Radlast des unbelasteten Kranes mit äußerster Katzstellung beim Einzelradantrieb oder
- der Summe der minimalen und maximalen Radlast eines unbelasteten Kranes mit äußerster Katzstellung beim Zentralantrieb.

Antriebskraft $K = K_1 + K_2 = \mu * \sum Q^*_{r,\min}$

Einzelradantrieb $\sum Q^*_{r,\min} = m_W * Q^*_{r,\min}$ mit $m_w = \text{Anzahl der einzeln angetriebenen Räder}$

Zentralantrieb $\sum Q^*_{r,\min} = Q^*_{r,\min} + Q^*_{r,\max}$ mit $Q^*_{r,i} = \text{Radlast des unbelasteten Kranes}$

Reibungswert $\mu = 0{,}2$ bei Stahl auf Stahl $\mu = 0{,}5$ bei Stahl auf Gummi

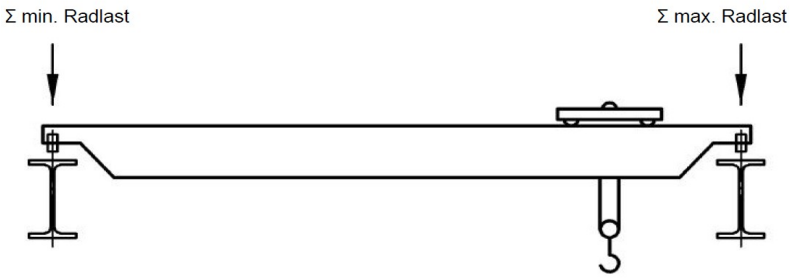


Abbildung 2: Radlasten

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an DIN 1055-10:2004-07 Bild 5

1 DIN 1055-10:2004-07 Kap. 5.7.3 Abs. 1.

(3) Horizontale Lasten längs und quer zur Fahrbahn aus Beschleunigen und Bremsen von Kranen – DIN 1055-10 Kap. 5.7.2

Die horizontalen Lasten $H_{L,i}$ und $H_{T,i}$ entstehen aus Kranfahren der Kranbrücke. „Die entlang der Kranbahn wirkende horizontale Last $H_{L,i}$ wird durch das Beschleunigen und Bremsen eines Krans verursacht. Sie resultiert aus der Antriebskraft, die in der Kontaktfläche zwischen Schiene und dem angetriebenen Rad wirkt“[2], und wird mit einem dynamischen Vergrößerungsfaktor φ_5 multipliziert.

Horizontale Last längs der Fahrbahn $$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r}$$

mit

Anzahl der Kranbahnträger n_r

dynamische Vergrößerungsfaktor φ_5

$\varphi_5 = 1{,}0$	für Fliehkräfte
$1{,}0 \leq \varphi_5 \leq 1{,}5$	für Systeme mit stetiger Veränderung der Kräfte
$1{,}5 \leq \varphi_5 \leq 2{,}0$	wenn plötzliche Veränderungen der Kräfte auftreten
$\varphi_5 = 3{,}0$	bei Antrieben mit beträchtlichem Spiel

Tabelle 2: Dynamischer Vergrößerungsfaktor φ_5

Quelle: DIN 1055-10 Tab. 6

Folgende Anmerkung erfolgt als Hinweis: Der dynamische Vergrößerungsfaktor φ_5 wird in der DIN 15018 Teil 1 nicht explizit ausgewiesen, jedoch wird die Antriebskraft K mit dem Faktor 1,5 multipliziert. Somit wäre nach DIN 15018 $\varphi_5 = 1{,}5$.

Die quer zur Kranbahn wirkende horizontale Last $H_{T,i}$ entsteht aufgrund des Abstandes l_s zwischen der Wirkungslinie der Resultierenden der Antriebskraft (verläuft durch die geometrische Mitte der Kranbrücke) und dem Masseschwerpunkt S der belasteten Kranbrücke mit äußerster Katzstellung. Das hieraus entstehende Moment wird durch ein Kräftepaar mit dem Hebelarm a (= Abstand der Führungsrollen bzw. der Spurkränze) ersetzt.

Die Aufteilung des Kräftepaares erfolgt im Verhältnis der Radlasten des belasteten Kranes und wird mit dem dynamischen Vergrößerungsfaktor φ_5 multipliziert.

2 DIN 1055-10 Kap. 5.7.2.

Horizontale Lasten quer der Fahrbahn $H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a}$

$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a}$

mit

Wichtungsfaktoren $\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$ $\xi_2 = 1 - \xi_1$

maximale Last je Rad des belasteten Kranes $Q_{r,max}$

$l_s = (\xi_1 - 0{,}5) * l$

Moment $M = K * l_s$

Spannweite der Kranbrücke l

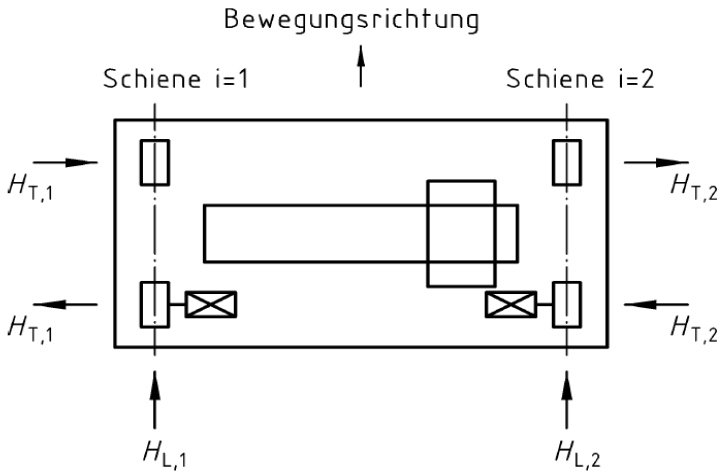


Abbildung 3: Anordnung der horizontalen Radlasten infolge Beschleunigen und Bremsen längs und quer zur Fahrbahn

Quelle. DIN 1055-10 Bild 7

Es wird darauf hingewiesen, dass die horizontalen Lasten $H_{L,i}$ für die Berechnung des Kranbahnträgers nicht dimensionierend sind. Die Überlagerung der horizontalen Lasten $H_{T,i}$ mit den horizontalen Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ dürfen vereinfacht mit einem Zuschlag von 10 % zu den horizontalen Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ berücksichtigt werden[3]. Dies bedeutet, dass die horizontalen Lasten $H_{L,i}$ und $H_{T,i}$ bei der Bemessung des Kranbahnträgers vernachlässigt werden dürfen.

3 Vgl. DIN 4132 Kap. 3.2.1.1.

(4) Horizontale Seitenlasten und Führungskraft infolge Schräglauf von Kranen – DIN 1055-10 Kap. 5.7.4

Die Grundlagen der Berechnung der Schräglaufkräfte basieren auf der Theorie der Spurführungsmechanik von Gleisfahrzeugen. Diese sehr komplexen Zusammenhänge wurden zur leichteren Handhabung in DIN 1055-10 vereinfacht und liegen auf der sicheren Seite unter Verwendung dieser Annahmen:

„• Bewegungen sind stationär; alle dynamischen Vorgänge werden durch den Ansatz von Schwingbeiwerten auf eine quasi-statische Betrachtungsweise reduziert.
• Die Kranfahrbahn wird als ideal-gerade und ideal-horizontal betrachtet.
• Kranbrücke und Kranbahn werden als starre Körper angesehen.
• Die Laufräder sind spielfrei und haben alle den gleichen Durchmesser.
• Die Kranbrücke wird mit ihrem in Fahrtrichtung vordersten rechten oder linken Führungsmittel (Seitenführungsrolle oder Spurkranz) geführt, während alle anderen Räder als freilaufend betrachtet werden.“[4]

Zur Berechnung der horizontalen Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ und der Führungskraft S sind die beiden nachfolgenden Hilfswerte zu berechnen:

– 1. Kraftschlussbeiwertes f

Die Bestimmung des Kraftschlussbeiwertes f erfolgt entweder unter Berücksichtigung des Schräglaufwinkel α oder vereinfacht mit f = 0,3. Der Schräglaufwinkel α kann Mithilfe der DIN 1055-10 Tab. 7 wie folgt bestimmt werden.

Kraftschlussbeiwert $f = 0{,}3 * \left(1 - e^{-250*\alpha}\right)$

mit Schräglaufwinkel $\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_o$

Winkel α_i	Mindestwerte von α_i
$\alpha_F = \frac{0{,}75x}{a}$	$0{,}75x \geq 5$ mm bei Führungsrollen
	$0{,}75x \geq 10$ mm bei Spurkränzen
$\alpha_V = \frac{y}{a}$	$y \geq 0{,}03b$ in mm bei Führungsrollen
	$y \geq 0{,}10b$ in mm bei Spurkränzen
$\alpha_o = 0{,}001$	

Dabei ist

a der Abstand der Führungsrollen bzw. der Spurkränze;

b die Schienenkopfbreite;

x der Querschlupf;

y der Verschleiß der Schiene.

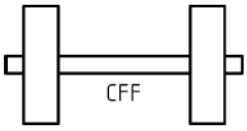
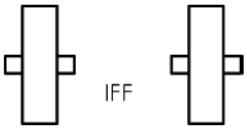
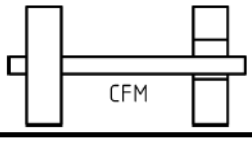
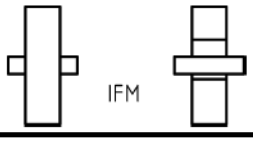
Tabelle 3: Bestimmung von α_F, α_V und α_0

Quelle: DIN 1055-10 Tab. 7

4 Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, S.26.

– 2. Kraftbeiwert $\lambda_{S,i,j,k}$

Der Kraftbeiwert $\lambda_{S,i,j,k}$ (DIN 1055-10 Tab. 9) ist abhängig vom Abstand h (DIN 1055-10 Tab. 8) zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel.

Radaufhängung	Kombination von Radpaaren		h
	Gekoppelt (C)	Unabhängig (I)	
Fest/Fest FF			$\frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Fest/Beweglich FM			$\frac{m \cdot \xi_1 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

Dabei ist
h der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel;
m die Anzahl der Paare mit gekoppelten Rädern (m = 0 für unabhängige Radpaare);
$\xi_1 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 1;
$\xi_2 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 2;
l die Spannweite des Krans;
e_j der Abstand zwischen der Radpaarachse j und dem relevanten Führungsmittel.

Tabelle 4: Bestimmung des Abstandes h

Quelle: DIN 1055-10 Tab. 8

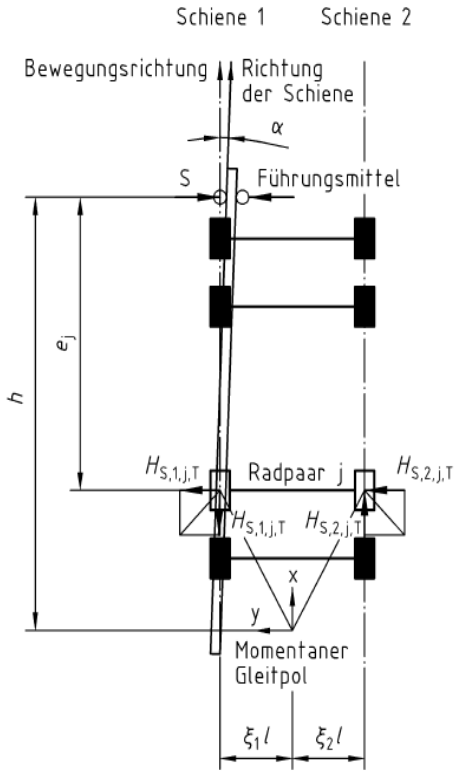


Abbildung 4: Darstellung des Schräglaufwinkels α und des Abstandes h

Quelle: DIN 1055-10 Bild 12

System	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1-\frac{\sum e_j}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \cdot \left(1-\frac{\sum e_j}{n \cdot h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \cdot \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Dabei ist
n die Anzahl der Radpaare;
$\xi_1 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 1;
$\xi_2 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 2;
l die Spannweite des Krans;
e_j der Abstand zwischen der Radpaarachse j und dem relevanten Führungsmittel;
h der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel.

Tabelle 5: Bestimmung der $\lambda_{S,i,j,k}$-Werte

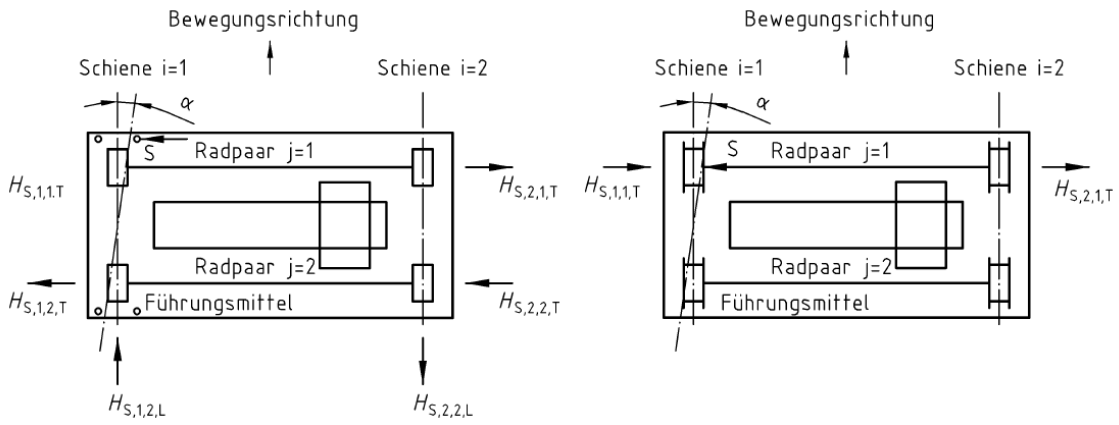
Quelle: DIN 1055-10 Tab. 9

Mit den ermittelten Hilfswerten berechnen sich die horizontalen Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ und die Führungskraft S wie folgt nach DIN 1055-10 Gl. (6)-(10):

$$S = f * \lambda_S * \sum Q_r$$
$$H_{S,1,j,L} = f * \lambda_{S,1,j,L} * \sum Q_r$$
$$H_{S,2,j,L} = f * \lambda_{S,2,j,L} * \sum Q_r$$
$$H_{S,1,j,T} = f * \lambda_{s,1,j,T} * \sum Q_r$$
$$H_{S,2,j,T} = f * \lambda_{s,2,j,T} * \sum Q_r$$

mit

$\Sigma\ Q_r =$ Summe aller Radlasten des belasteten Kranes, ohne Schwingbeiwert φ



a) separate Führungsmittel **b) Spurführung mittels Spurkränzen**

Abbildung 5: Anordnung der horizontalen Radlasten aus Schräglauf längs und quer zur Fahrbahn

Quelle: DIN 1055-10 Bild 8

(5) Pufferkräfte

Die Montage der Puffer erfolgt an den Stirnseiten der Brückenkopfträger. Sie dienen einerseits der Dämpfung des Anpralls der Kranbrücke gegen die Endanschläge der Kranbahn und andererseits der Dämpfung eines Zusammenstoßes der Kranbrücken beim Betrieb mehrerer Krane auf der gleichen Kranbahn.

Die Pufferkräfte errechnen sich aus der kinetischen Energie der Kranbrücke und den Pufferkenngrößen, die abhängig vom Material und den Abmessungen des Puffers sind. Der Anprall der Kranbrücke gegen die Endanschläge der Kranbahn wird als außergewöhnliche Beanspruchung definiert und ist in der Regel für die Bemessung der Kranbahn nicht dimensionierend.

Auf die Berechnung der Pufferkräfte wird nicht näher eingegangen. Diese Kräfte können den Datenblätter der Kranhersteller entnommen werden.

2.1.3 Berechnung von Kranbahnträgern

2.1.3.1 Schnittgrößenberechnung

Die Orte maximaler Schnittgrößen bei vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen lassen sich in der Regel relativ einfach bestimmen. Kranbahnträger hingegen werden nicht vorwiegend ruhend beansprucht durch Radlastgruppen mit mindestens zwei vertikalen Radlasten, die mit einem konstanten Abstand zueinander über den Kranbahnträger wandern. Deshalb wäre die Ermittlung der maximalen Schnittgrößen eines Kranbahnträgers ohne die Untersuchungen von Culmann (bei Einfeldträgern) und von Rose (bei Mehrfeldträgern) manuell äußerst aufwändig. Mit geeigneter Software lassen sich heute auch für komplizierte Systeme Grenzlinien ermitteln, die an jeder Stelle des Trägers die maximalen und minimalen Schnittgrößen darstellen.

(1) Schnittgrößenberechnung an Einfeldträgern nach Culmann

Karl Culmann entwickelte einen einfachen Algorithmus zur Bestimmung des maximalen Biegemomentes an Einfeldträgern, die durch Wanderlasten mit konstantem Abstand zu einander belastet werden.

Zunächst erfolgt die Bestimmung des Angriffspunktes der Resultierenden der Einzellasten. Im Anschluss wird der Abstand der Resultierenden zur linken Einzellast halbiert und der so ermittelte Punkt mittig des Trägers gestellt. In Folge stellt sich nun an der Stelle der linken Einzellast das maximale Biegemoment ein.

Es gilt: linke Einzellast $F_1 \geq$ rechte Einzellast F_2.

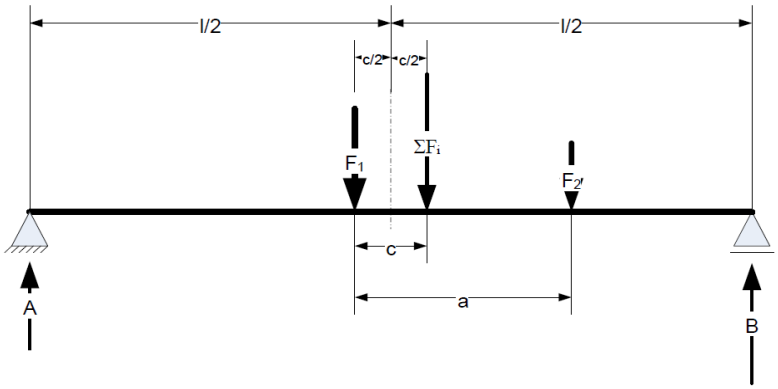


Abbildung 6: Culmansche Laststellung

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Abb. 4-3, S.122

(2) Schnittgrößenberechnung an Zweifeldträgern nach Rose

Die Ermittlung der maximalen Schnittgrößen von Mehrfeldträgern, die durch Wanderlasten beansprucht werden, wurde von Rose untersucht. Mit Hilfe der Tabellenwerte von Rose wird im Folgenden die Berechnung der Schnittgrößen eines Zweifeldträgers mit gleichen Stützweiten, der von zwei Wanderlasten mit konstantem Abstand belastet wird, dargestellt.

Für die Bestimmung der Tafelwerte ist das Verhältnis des Abstandes der Einzellasten a zur Stützweite l sowie das Verhältnis der rechten zur linken Einzellast erforderlich. Die Tafelwerte werden in einfache Formeln zur Berechnung der Schnittgrößen eingesetzt.

Es gilt: linke Einzellast $F_1 \geq$ rechte Einzellast F_2.

Neben der Position des maximalen Biegemomentes und den maximalen Auflagerlasten kann das minimale Biegemoment an der Stelle des maximalen Biegemomentes ermittelt werden. Hierbei handelt es sich um eine wichtige Schnittgröße für den Betriebsfestigkeitsnachweis.

$$\text{Hilfswerte} \quad \alpha = \frac{a}{l} \quad \beta = \frac{F_2}{F_1}$$

Maximales Feldmoment	$\max M_{y,F} = \gamma_{MF} * F_1 * l \quad \text{bei} \quad x_{MF} = l * \xi_{MF}$
Extremales Stützmoment	$\max M_{y,St} = -\gamma_{MSt} * F_1 * l \quad \text{bei} \quad x_{MSt} = l * \xi_{MSt}$
Maximales Randauflagekraft	$\max A = \gamma_A * F_1$
Maximale Mittenauflagekraft	$\max B = \gamma_B * F_1$
Minimales Moment an der Stelle x	$\min M_{y,F} = -\gamma_{\min MF} * F_1 * x/10$

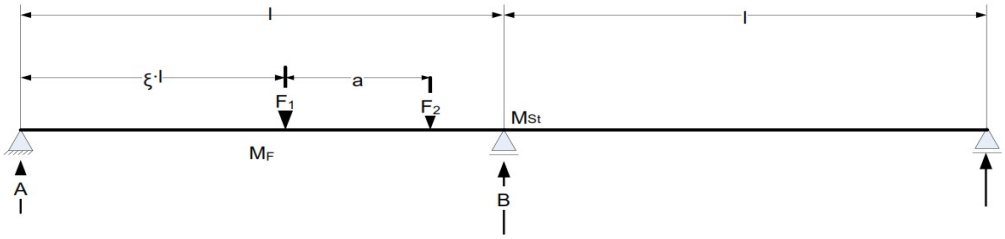


Abbildung 7: Systemmaße am Zweifeldträger

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Abb. 4-14, S. 131

Bezugnehmend auf die dargestellte Berechnung wird folgender Berechnungshinweis gegeben: Das maximale Biegemoment M_z infolge Schräglauf H_S kann mit oben genannten Formeln berechnet werden, unter Annahme zweier Kräfte mit der Größe $H_S/2$ und dem Abstand a = 0.

γ_{MF}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,415	0,394	0,373	0,332	0,290
0,1	0,369	0,353	0,337	0,304	0,272
0,2	0,328	0,316	0,304	0,279	0,255
0,3	0,292	0,283	0,274	0,257	0,240
0,4	0,260	0,254	0,248	0,237	0,227
0,5	0,233	0,229	0,226	0,221	0,216
0,6	0,210	0,209	0,208	0,207	0,207
0,7 *)	0,193	0,193	0,194	0,197	0,200
0,8 *)	0,180	0,182	0,185	0,189	0,195
0,9 *)	0,172	0,175	0,178	0,185	0,192
1,0 *)	0,169	0,172	0,176	0,183	0,191

*) γ_{MF} > 0,207, wenn Räder Träger verlassen

γ_{MSt}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,193	0,183	0,173	0,154	0,135
0,1	0,190	0,181	0,171	0,152	0,134
0,2	0,184	0,175	0,166	0,147	0,130
0,3	0,173	0,165	0,156	0,139	0,123
0,4	0,159	0,151	0,143	0,127	0,114
0,44	0,152	0,145	0,138	0,124	0,110
0,5	0,164	0,156	0,148	0,133	0,118
0,6	0,179	0,170	0,161	0,144	0,127
0,7	0,188	0,177	0,169	0,150	0,132
0,8	0,192	0,182	0,173	0,154	0,135
1,0	0,188	0,178	0,169	0,150	0,132

γ_A	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	2,000	1,900	1,800	1,600	1,400
0,1	1,875	1,788	1,700	1,525	1,350
0,2	1,752	1,677	1,602	1,451	1,301
0,3	1,632	1,569	1,505	1,379	1,253
0,4	1,516	1,464	1,413	1,310	1,206
0,5	1,406	1,366	1,325	1,244	1,163
0,6	1,304	1,274	1,243	1,182	1,122
0,7	1,211	1,190	1,169	1,127	1,084
0,8	1,128	1,115	1,102	1,077	1,051
0,9	1,057	1,052	1,046	1,034	1,023
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

γ_B	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	2,000	1,900	1,800	1,600	1,400
0,1	1,993	1,893	1,793	1,595	1,396
0,2	1,971	1,873	1,774	1,578	1,384
0,3	1,936	1,839	1,743	1,552	1,364
0,4	1,888	1,794	1,696	1,516	1,337
0,5	1,828	1,737	1,647	1,472	1,304
0,6	1,757	1,670	1,584	1,419	1,265
0,7	1,675	1,593	1,512	1,359	1,220
0,8	1,584	1,506	1,431	1,292	1,171
0,9	1,484	1,411	1,343	1,219	1,119
1,0	1,375	1,309	1,247	1,141	1,063

ξ_{MF}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
0,1	0,412	0,413	0,414	0,417	0,421
0,2	0,393	0,396	0,398	0,404	0,411
0,3	0,377	0,381	0,384	0,393	0,403
0,4	0,364	0,368	0,373	0,384	0,397
0,5	0,354	0,359	0,365	0,378	0,393
0,6	0,347	0,354	0,361	0,376	0,393
0,7	0,348	0,355	0,363	0,378	0,395
0,8	0,353	0,360	0,368	0,383	0,399
0,9	0,363	0,370	0,377	0,391	0,405
1,0	0,377	0,383	0,389	0,401	0,412

ξ_{MSt}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
0,1	0,525	0,528	0,531	0,538	0,547
0,2	0,469	0,474	0,480	0,494	0,513
0,3	0,408	0,416	0,425	0,446	0,476
0,4	0,342	0,352	0,364	0,394	0,434
<0,44	0,316	0,326	0,340	0,373	0,417
>0,44	0,780	0,771	0,760	0,736	0,702
0,5	0,750	0,742	0,733	0,712	0,683
0,6	0,700	0,694	0,688	0,672	0,651
0,8	0,600	0,599	0,597	0,594	0,590
1,0	0,500	0,504	0,509	0,521	0,535

γ_{minMF}	β – Räder können Träger verlassen				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	1,92	1,82	1,73	1,54	1,34
0,1	1,90	1,8	1,71	1,52	1,33
0,2	1,83	1,74	1,65	1,47	1,30
0,3	1,73	1,65	1,56	1,40	1,23
0,4	1,57	1,51	1,44	1,30	1,17
0,5	1,40	1,33	1,28	1,18	1,08
0,6	1,20	1,15	1,11	1,04	0,99
0,7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
0,8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
0,9	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
1,0	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96

γ_{minMF}	β – Beide Räder bleiben auf Träger				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	1,92	1,82	1,73	1,54	1,34
0,1	1,90	1,8	1,71	1,52	1,33
0,2	1,83	1,74	1,65	1,47	1,30
0,3	1,73	1,65	1,56	1,40	1,23
0,4	1,57	1,51	1,44	1,30	1,17
0,5	1,40	1,33	1,28	1,18	1,08
0,6	1,20	1,15	1,11	1,04	0,99
0,7	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
0,8	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
0,9	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
1,0	0	0	0	0	0

Tabelle 6: Tafelwerte zur Berechnung von zweifeldrigen Kranbahnträgern

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Abb. 4-1, S. 131f

2.1.3.2 Hubklassen und Beanspruchungsgruppen

Die Einordnung von Kranen in bestimmte Hubklassen H1-H4 dient der Berücksichtigung der dynamischen Einwirkung des Kranes auf die Tragkonstruktion. Beim Kran- und Katzfahren sowie den Hubvorgängen entstehen Schwingungen, die zu einer zusätzlichen Belastung der Tragkonstruktion führen. Um diese zusätzliche Belastung vereinfacht erfassen zu können, wurden Hubklassen eingeführt, denen ein bestimmter Schwingbeiwert φ zugeordnet ist, mit dem die vertikalen Radlasten zu multiplizieren sind.

Bauteil	Hubklasse des Krans			
	H 1	H 2	H 3	H 4
Träger	1,1	1,2	1,3	1,4
Unterstützungen oder Aufhängungen	1,0	1,1	1,2	1,3

Abbildung 8: Schwingbeiwert φ

Quelle: DIN 4132 Tab. 1

Es wird darauf hingewiesen, dass die Berechnung von Grundbauten, Bodenpressung und Formänderungen ohne Berücksichtigung des Schwingbeiwertes φ erfolgt.

Die Anzahl der zu erwartenden Spannungsspiele mit einem bestimmten Spannungskollektiv über die vorgesehene Lebensdauer der Krananlage wird mit den Beanspruchungsgruppen B1-B6 ausgedrückt. Die Beanspruchungsgruppe steigt mit zunehmender Spannungsspielzahl und mit größerer Völligkeit des Spannungskollektivs. Im Betriebsfestigkeitsnachweis werden die zulässigen Spannungen aufgrund der festgelegten Beanspruchungsgruppe abgemindert.

Bei genauer Kenntnis der zu erwartenden Betriebsbedingungen des Kranes kann die Beanspruchungsgruppe nach DIN 15018 Teil 1 Kap. 7.4.2 bestimmt werden.

Empfehlungen zur Zuordnung bestimmter Kranarten zu einer Belastungsgruppe und Hubklasse beinhaltet die DIN 15018 Teil 1 Tab. 23.

Lfd. Nr	Kranart		Hub-klassen	Beanspru-chungs-gruppen
1	Handkrane		H 1	B 1, B 2
2	Montagekrane		H 1, H 2	B 1, B 2
3	Maschinenhauskrane		H 1	B 2, B 3
4	Lagerkrane	unterbrochener Betrieb	H 2	B 4
5	Lagerkrane, Traversenkrane, Schrottplatzkrane	Dauerbetrieb	H 3, H 4	B 5, B 6
6	Werkstattkrane		H 2, H 3	B 3, B 4
7	Brückenkrane, Fallwerkkrane	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 5, B 6
8	Gießkrane		H 2, H 3	B 5, B 6
9	Tiefofenkrane		H 3, H 4	B 6
10	Stripperkrane, Chargierkrane		H 4	B 6
11	Schmiedekrane		H 4	B 5, B 6
12	Verladebrücken, Halbportalkrane, Vollportalkrane mit Laufkatze oder Drehkran	Hakenbetrieb	H 2	B 4, B 5
13	Verladebrücken, Halbportalkrane, Vollportalkrane mit Laufkatze oder Drehkran	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 5, B 6
14	Fahrbare Bandbrücken mit fest eingebautem oder verschiebbarem Band (Bändern)		H 1	B 3, B 4
15	Dockkrane, Hellingkrane, Ausrüstungskrane	Hakenbetrieb	H 2	B 3, B 4
16	Hafenkrane, Drehkrane, Schwimmkrane, Wippdrehkrane	Hakenbetrieb	H 2	B 4, B 5
17	Hafenkrane, Drehkrane, Schwimmkrane, Wippdrehkrane	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 5, B 6
18	Schwerlast-Schwimmkrane, Bockkrane		H 1	B 2, B 3
19	Bordkrane	Hakenbetrieb	H 2	B 3, B 4
20	Bordkrane	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 4, B 5
21	Turmdrehkrane für den Baubetrieb		H 1	B 3
22	Montagekrane, Derrickkrane	Hakenbetrieb	H 1, H 2	B 2, B 3
23	Schienendrehkrane	Hakenbetrieb	H 2	B 3, B 4
24	Schienendrehkrane	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 4, B 5
25	Eisenbahnkrane, in Zügen zugelassene		H 2	B 4
26	Autokrane, Mobilkrane	Hakenbetrieb	H 2	B 3, B 4
27	Autokrane, Mobilkrane	Greifer- oder Magnetbetrieb	H 3, H 4	B 4, B 5
28	Auto-Schwerlastkrane, Mobil-Schwerlastkrane		H 1	B 1, B 2

Abbildung 9: Hubklassen und Beanspruchungsgruppen

Quelle: DIN 15018 Teil 1 Tabelle 23

2.1.3.3 Tragsicherheitsnachweise

Folgende Tragsicherheitsnachweise für Kranbahntäger sind zu führen und werden nachfolgend erläutert:

(1) allgemeiner Spannungsnachweis (Grundwerkstoff und Schweißnähte)
(2) Stabilitätsnachweise (Biegedrillknicknachweis und Beulnachweis)
(3) Betriebsfestigkeitsnachweis[5].

(1) Allgemeiner Spannungsnachweis

Der Spannungsnachweis wird nach dem Verfahren elastisch – elastisch nach DIN 18800-1 vorgestellt.

Kranbahnträger werden auf Biegung um die y- und z-Achse sowie auf Torsion beansprucht. Die Ursache für die Entstehung der Torsion liegt in dem Abstand des Lastangriffspunktes des Rades zum Schubmittelpunkt des Kranbahnträgers. Des weiteren ist ein Nachweis des Trägers lokal an der Radlasteinleitungsstelle erforderlich.

Die Spannungsermittlung infolge Torsion ist manuell nur mit sehr großem Aufwand erfassbar. Vor diesem Hintergrund wurde das Modell des Tragwirkungssplittings entwickelt. Beim Tragwirkungssplitting wird der Obergurt + 1/5 Steg gedanklich aus dem Gesamtquerschnitt herausgeschnitten und mit der quer zum Kranbahnträger angreifenden horizontalen Last belastet. Die geringe Außermittigkeit zwischen Radlasteinleitungsstelle und dem Schubmittelpunkt des Obergurtes + 1/5 Steg wird vernachlässigt. Folglich ist die Torsionsbeanspruchung in ein reines Biegeproblem überführt.

$$\sigma_x = \frac{M_y}{Wy} + \frac{M_z}{W_{z,OG}} \quad \text{mit } W_{z,OG} \approx \frac{W_z}{2}$$

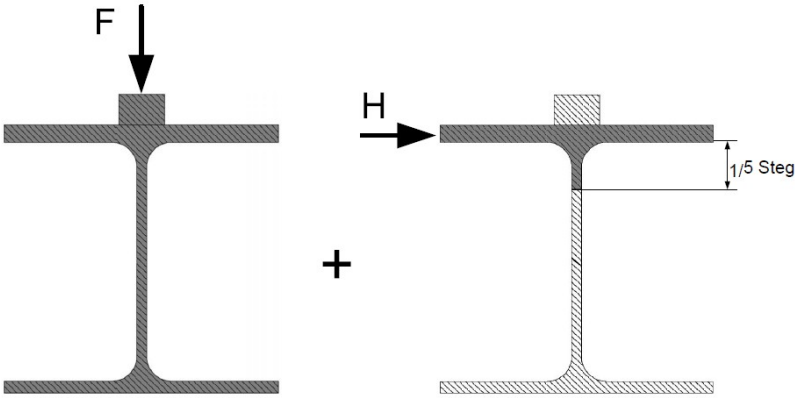


Abbildung 10: Tragwirkungssplitting

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Abb. 5-1, S. 141

Eine wirtschaftlichere Bemessung lässt sich mit geeigneter Software, die das Torsionsproblem vollständig erfassen kann, durchführen.

5 Vgl. Lohse, W.: Stahlbau 2, 20. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden 2005, S. 132.

Die lokale Spannung $\bar{\sigma}_z$ infolge Radlasteinleitung muss nach Beiblatt 1 zu DIN 4132 Kap. 4.1.2 mit den Spannungen aus globaler Biegung überlagert werden. Jedoch wird die lokale Schubspannung $\bar{\tau}_{xz}$ beim Spannungsnachweis vernachlässigt, da sich die Maxima von Spannung $\bar{\sigma}_z$ und $\bar{\tau}_{xz}$ nicht am gleichen Ort befinden. Für die Berechnung der lokalen Spannung $\bar{\sigma}_z$ darf die Lasteinleitungslänge zwischen Rad und Schienenoberkante nach DIN 4132 Kap. 4.1.2 mit 50 mm angenommen werden. Allerdings ist die Schienenhöhe aufgrund Verschleißerscheinungen während der Lebensdauer der Schiene um 25 % zu reduzieren.
Der Nachweis des Grundquerschnitts erfolgt mit der lokalen Spannung $\bar{\sigma}_z$ am Stegansatz zum Obergurt. Die lokale Spannung $\bar{\sigma}_z$ darf als konstant über die Lasteinleitungslänge angenommen werden.

Lasteinleitungslänge für gewalzte Träger $c = 2 * (t + h_{0,75 * \text{Schiene}} + r) + 5\ \text{cm}$

Radlasteinleitungsspannung für gewalzte Träger $\bar{\sigma}_z = \frac{F}{c * s}$

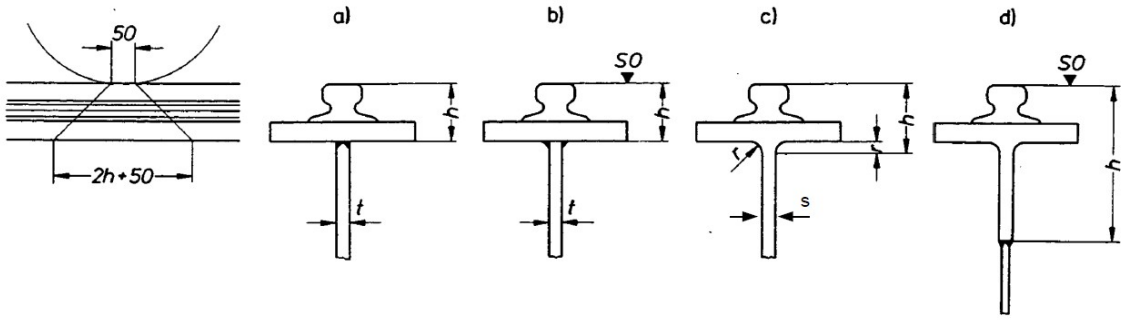


Abbildung 11: Höhe h für die Bestimmung von $\bar{\sigma}_z$
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an DIN 4132 Bild 2

Anzumerken ist, dass durch elastische Schienenunterlagen die lokale Spannung $\bar{\sigma}_z$ reduziert werden kann. Hierauf wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

Neben den Kranschienen mit Fußflansch, die auf die Obergurt-Oberseite des Kranbahnträgers meist aufgeklemmt werden, kommen angeschweißte Flachstahlschienen zum Einsatz. Der Nachweis durchgehender Kehlnähte zwischen Kranschiene und Obergurt wird im Folgenden dargestellt.
Bei der Berechnung von Spannungen infolge globaler Biegung des Kranbahnträgers wird zur Vereinfachung die Schiene oft als nicht mittragend betrachtet. Beim Schweißnahtnachweis muss jedoch die Berücksichtigung der vorhandenen schubsteifen Verbindung zwischen Schiene und Obergurt erfolgen. Deshalb muss die aus globaler Biegung resultierende Schubspannung $\tau_{\parallel}$ mit den Spannungen aus Radlasteinleitung

überlagert werden. Es darf nicht unterstellt werden, dass die Radlast über Kontakt zwischen Schiene und Obergurt übertragen wird. Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass die gesamte Radlast rechnerisch über die Kehlnähte weitergeleitet wird. Hieraus resultiert die Normalspannung $\bar{\sigma}_{\perp}$ und ein weiterer Anteil, die Schubspannung $\bar{\tau}_{\perp}$, aus der horizontalen Last infolge Schräglauf. Bei der Schweißnahtberechnung sind demnach diese Spannungen zu berücksichtigen:

$$\tau_{\parallel}=\frac{V*S_{y,Schiene}}{I_y*2*a_w} \qquad \bar{\sigma}_{\perp}=\frac{F}{(2*h_{Schiene*0,75}+5\,cm)2*a_W} \qquad \bar{\tau}_{\perp}=\frac{H_S^*}{(b_{Schiene}+5\,cm)\,2*a_w}$$

Eine Zusammenstellung möglicher Nachweisstellen für den Spannungsnachweis ist in nachfolgender Tabelle angegeben. Weitere Nachweisstellen sind, je nach Konstruktion, zu ergänzen.

Nr.	NW-Stelle in Trägerlängsrichung	NW-Stelle im Querschnitt	Zu berücksichtigende Schnittgrößen	Nachzuweisende Spannung
1	Feld 1. max M_y 2. max M_z	Außenkante Obergurt	M_y, M_z	σ_x
2	lokal	Stegansatz	Radlasteinleitung F	$\bar{\sigma}_z$
3	Feld	Stegansatz	max M_y, Radlasteinleitung F	σ_x, τ_{xz}, $\bar{\sigma}_z$
4	Auflager	Stegansatz	max V_z, Radlasteinleitung F	τ_{xz}, $\bar{\sigma}_z$
5	Auflager	Kehlnaht Schiene/Obergurt	max V_z, Radlasteinleitung F	$\tau_{\parallel}$, $\bar{\tau}_{\perp}$, $\bar{\sigma}_{\perp}$
...	...	...	...	...

Tabelle 7: Nachweisstellen für den Spannungsnachweis

Quelle: Eigene Darstellung

(2) Stabilitätsnachweise

Der Kranbahnträger muss, sofern er als offener Querschnitt ausgebildet ist, neben dem Nachweis gegen Beulen auch gegen das Stabilitätsversagen Biegedrillknicken nachgewiesen werden. Im Anschluss werden nun diese Nachweise erläutert.

- Biegedrillknicknachweis

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken kann mit dem Verfahren nach Theorie II. Ordnung geführt werden, allerdings ist die Anwendung nur mit geeigneter Software wirtschaftlich möglich.

Manuell lässt sich das Biegedrillknicken mit dem Ersatzstabverfahren nach DIN 18800-

2 nachweisen. Gleichwohl kann die Torsionsbeanspruchung des Kranbahnträgers nur durch die Umrechnung in ein zusätzliches Biegemoment um die z-Achse berücksichtigt werden, was zu einer Erhöhung des Berechnungsaufwands führt. Das Verfahren auf Grundlage des Tragwirkungssplittings umgeht den Biegedrillknicknachweis, indem das Gedankenmodell des herausgelösten Obergurtes + 1/5 Steg gegen Biegeknicken um die z-Achse nachgewiesen wird.
Nachfolgend werden die beiden letztgenannten Biegedrillknicknachweis dargestellt.

- Nachweis des Obergurtes + 1/5 Steg gegen Biegeknicken

Das Gedankenmodell des herausgelösten Obergurtes + 1/5 Steg wird mit der horizontalen Last infolge Schräglauf belastet, welche ein Biegemoment um die z-Achse erzeugt. Infolge globaler Biegung entsteht im Obergurt des Kranbahnträgers eine Druckspannung, die in eine Druckkraft umgerechnet wird. Mit dem ermittelten Biegemoment und der Druckkraft wird der Biegeknicknachweis nach DIN 18800-2 für den Ersatzquerschnitt, Obergurt + 1/5 Steg, geführt.

Die Normalkraft berechnet sich zu:

$$N_d = \frac{M_{y,d} * S_{y,OG}}{I_y} \quad \text{vereinfacht} \quad N_d \approx \frac{M_{y,d}}{h^*} \quad \text{mit} \quad h^* = h - t$$

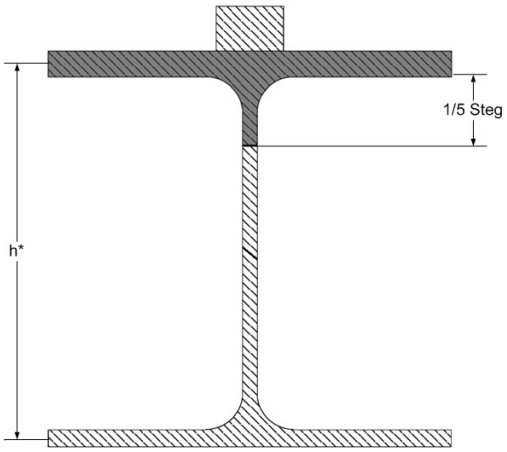


Abbildung 12: Trägerquerschnitt

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Abb. 6-3, S.170

- Nachweis des Kranbahnträgers gegen Biegedrillknicken nach dem Ersatzstabverfahren

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken nach dem Ersatzstabverfahren der DIN 18800-2 kann nur bei Stäben mit konstanter Normalkraft und mit doppelt- oder einfach-symmetrischen I-förmigen Querschnitten angewendet werden[6]. Des weiteren müssen die grenz b/t-Verhältnisse nach DIN 18800-1 Tab. 12 und 13 eingehalten werden. Das Torsionsmoment kann standardmäßig nicht in diesem Nachweis erfasst werden, so dass eine Umrechnung in ein zusätzliches Querbiegemoment nach folgender Vorgehensweise durchgeführt wird.

Das Torsionsmoment aus dem Produkt von horizontaler Last infolge Schräglauf H^*_S und dem Abstand zwischen Schubmittelpunkt des Kranbahnträgers und dem Lastangriffspunkt e_z erzeugt ein Wölbbimoment M_ω. Das Wölbbimoment wird in ein Momentenpaar im Ober- und Untergurt aufgeteilt und mit dem Faktor 2 multipliziert, da der gesamte Querschnitt, demnach 2 Gurte, beim Biegedrillknicknachweis berücksichtigt wird.

$$M_\omega = \frac{M_T}{\lambda} * \left(\frac{\sinh(\lambda * (l - x))}{\sinh(\lambda * l)} * \sinh(\lambda * x) \right)$$

$$M_z^* = 2 * \frac{M_\omega}{h - t}$$

$$\text{vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, darf } M_{z,d}^* = M_{z,d}^\circ \text{ angenommen werden}$$

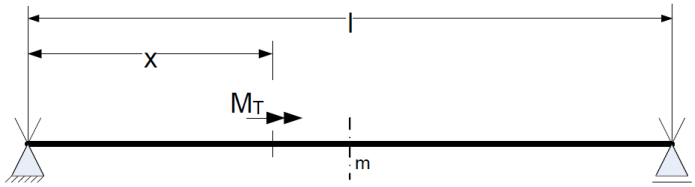


Abbildung 13: Systemmaße am Einfeldträger

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Tab. 5-1, S. 145

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken lautet:

$$\frac{M_y}{\kappa_M * M_{pl,y,d}} * k_y + \frac{M_z + M_z^*}{M_{pl,z,d}} * k_z \leq 1{,}00$$

6 Vgl. DIN 18800-2 El. (323).

- **Beulnachweis**

Die Beulsicherheit der Kranbahnträgergurte kann mit dem grenz b/t- Verfahren der DIN 18800-1 Tab. 12 und 13 nachgewiesen werden. An dieser Stellen wird hierauf nicht näher eingegangen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit die Beulsicherheit des Steges von Trägern auch mit dem grenz b/t-Verfahren nachzuweisen. Da Kranbahnträger jedoch lokal durch eine zusätzliche Normalspannung $\bar{\sigma}_z = \sigma_y$ (gemäß DIN 18800-3) infolge der Radlasteinleitung beansprucht werden und diese zusätzliche Beanspruchung beim grenz b/t-Verfahren nicht berücksichtigt werden kann, ist der Beulnachweis nach DIN 18800-3 erforderlich. Die folgenden Schritte gliedern das Verfahren des Beulnachweises:

1. Berechnung der Spannungen σ_x, σ_y, τ_{xz}
2. Bestimmung der Hilfswerte
   - Verhältnis von Beulfeldlänge zu Beulfelbreite α
   - Verhältnis von Radlasteinleitungslänge zu Beulfeldlänge β
   - Randspannungsverhältnis ψ
3. Bestimmung der Beulwerte k_i: Die DIN 18800-3 stellt keine Algorithmen zur Berechnung der Beulwerte k zur Verfügung, deshalb sind diese aus der Literatur zu entnehmen.
4. Berechnung der idealen Einzelbeulspannungen $\sigma_{x,Pi}$, $\sigma_{y,Pi}$, τ_{Pi}
5. Berechnung der bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_{p,i}$ und Abminderungsfaktoren κ_i
6. Überprüfen auf knickstabähnliches Verhalten
7. Berechnung der Grenzbeulspannungen
8. Nachweisführung

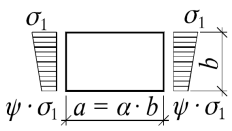
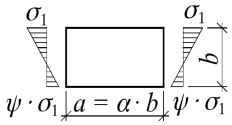
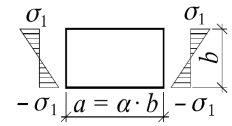
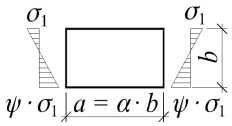
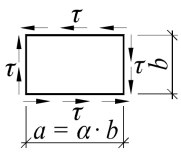
Es wird unterstellt, dass an den Auflagerpunkten des Kranbahnträgers Quersteifen angeordnet sind, die die notwendige Gabellagerung für den Biegedrillknicknachweis realisieren.

$\beta =$	$\alpha = a/b$									
c/a	0,5	1	2	3	4	6	8	10	20	30
0,0	12,5	3,23	1,17	0,73	0,52	0,34	0,25	0,20	0,10	–
0,1	13	3,27	1,21	0,79	0,59	0,47	0,40	0,35	0,24	0,19
0,2	13,5	3,35	1,27	0,86	0,68	0,60	0,54	0,51	0,42	0,37
0,4	15	3,67	1,45	1,06	0,91	0,84	0,80	0,77	0,70	0,67
0,6	17	4,22	1,72	1,33	1,19	1,12	1,09	1,06	1,00	0,98
1,0	21	6,08	2,55	2,03	1,93	1,81	1,77	1,72	1,68	1,65

Tabelle 8: Beulwerte $k_{\sigma y}$

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, Tab. 7-1, S.190

Es besteht die Möglichkeit, den Beulwert $k_{\sigma y}$ für α>10 und β<0,1 wie folgt zu bestimmen: Mit $\alpha^* = \alpha/2$ und $\beta = 2\beta$ wird der Parameter $k^*_{\sigma y}$ abgelesen. Der Beulwert $k_{\sigma y}$ ergibt sich näherungsweise zu $k^*_{\sigma y}/2$.

1	Beanspruchung		Ideale Beul-spannung	Gültig-keits-bereich	Beulwert
2	Geradlinig verteilte Druckspannungen $0 \le \psi \le 1$		$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge 1$	$k_\sigma = \frac{8{,}4}{\psi + 1{,}1}$
				$\alpha < 1$	$k_\sigma = \left[\alpha + \frac{1}{\alpha}\right]^2 \cdot \frac{2{,}1}{\psi + 1{,}1}$
3	Geradlinig verteilte Druck- und Zug-spannungen mit überwiegendem Druck $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$		$k_\sigma = (1 + \psi) \cdot k' - \psi \cdot k'' + 10\,\psi \cdot (1 + \psi)$ k': Beulwert für $\psi = 0$ nach Zeile 2 k'': Beulwert für $\psi = -1$ nach Zeile 4
4	Geradlinig verteilte Druck- und Zug-spannungen mit gegengleichen Randwerten $\psi = -1$ oder mit überwiegendem Zug [1] $\psi < -1$	 	$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 23{,}9$
				$\alpha < \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 15{,}87 + \frac{1{,}87}{\alpha^2} + 8{,}6 \cdot \alpha^2$
5	Gleichmäßig verteilte Schub-spannungen		$\tau_{Pi} = k_\tau \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge 1$	$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4{,}00}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$	$k_\tau = 4{,}00 + \frac{5{,}34}{\alpha^2}$

[1] Bei der Berechnung des Seitenverhältnisses α und der Eulerspannung σ_e ist hier b durch den ideellen Wert $b_i = 2 \cdot b_D$ zu ersetzen, wobei $b_D < 0{,}5 \cdot b$ die Breite der Druckzone ist. Dies ist jedoch nicht zulässig für die Berechnung des Beulwertes k gleichzeitig wirkender Schubspannungen und der Bezugsspannung σ_e zur Ermittlung der Beulspannung τ_{Pi}.

Tabelle 9: Beulwerte k für unversteifte, an allen 4 Rändern einspannungsfrei gelagerte Beulfelder nach DIN 4114-1

Quelle: Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Werner Verlag, Köln 2008, Tafel 8.61, S. 8.61

Neben den bereits ausgeführten Tragsicherheitsnachweisen für Kranbahnträger (allgemeiner Spannungsnachweis und Stabilitätsnachweise) folgt nun die Darstellung des Betriebsfestigkeitsnachweises.

(3) Betriebsfestigkeitsnachweis

Kranbahnen sind nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile, die während ihrer Nutzungsdauer häufig mit wechselnden Belastungen unterschiedlicher Intensität beansprucht werden. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, Kranbahnträger gegen Materialermüdung nachzuweisen.

Der sogenannte Betriebsfestigkeitsnachweis der DIN 4132 basiert auf dem alten Sicherheitskonzept der zulässigen Spannungen. Deshalb werden die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M und γ_F des neuen Sicherheitskonzepts auf den Wert 1,0 reduziert. Mit der Umstellung des Sicherheitskonzepts werden die zulässigen Spannungen der DIN 4132 als Grenzspannungen definiert. Aus diesem Grund ist folgende Umbenennung eingeführt: $\mathrm{zul}_\tau^\sigma \mathrm{Be} \equiv \mathrm{grenz}_\tau^\sigma \mathrm{Be}$.

Der Betriebsfestigkeitsnachweis berücksichtigt

- die Stahlsorte,
- die Beanspruchungsgruppe,
- den Kerbfall an der Nachweisstelle,
- das Spannungsverhältnis aus Unter- und Oberspannung an der Nachweisstelle, sowie
- eine aus den genannten Faktoren ermittelte Grenzspannung.

Die Kerbfälle sind in Gruppen zusammengefasst, wobei W0-W2 Kerbfälle beschreiben, die an Bauteilen und geschraubt oder genieteten Verbindungen vorzufinden sind. Kerbfälle an geschweißten Bauteilen werden in den Gruppen K0-K4 zusammengefasst. Die Zahl 0 steht für geringe Kerbwirkung und die Zahl 4 für besonders starke Kerbwirkung. Darüber hinaus sind schubbeanspruchte Schweißnähte sowie Schrauben ebenfalls auf Ermüdung zu untersuchen.

Der Betriebsfestigkeitsnachweis von Schrauben wird in dieser Arbeit nicht ausgeführt.

Kranbahnträger werden während des Kranfahrens ständig von vertikalen Radlasten beansprucht, wohingegen die horizontalen Kräfte im Verhältnis marginal auftreten. Deshalb sind horizontale Kranlasten für die Betriebsfestigkeitsuntersuchung (BFU) nicht relevant.

Mit den Radlasten (multipliziert mit dem Schwingbeiwert φ) werden die Unter- und Oberspannung an den unterschiedlichen Nachweisstellen berechnet.

Die Grenzspannungen können entweder mit der Tabelle 3 der DIN 4132 berechnet werden oder aus den Tabellen 7 – 18 der DIN 4132 abgelesen werden. Wichtig hierbei

ist, dass die ermittelten Grenzspannungen oberhalb der zulässigen Spannungen im Lastfall H liegen können und deshalb begrenzt werden müssen.
In nachfolgender Tabelle sind die Grenzwerte für die Grenzspannungen aufgelistet.

Kappung	**Regelfall** Grenzspannungen [kN/cm²]		**Ausnahmefall**[1)] Grenzspannungen [kN/cm²]	
Stahl	S 235	S 355	S 235	S 355
grenz σ_{Be}	16	24	24	36
grenz τ_{Be} - Bauteil	9	13,5	13,9	20,8
grenz τ_{Be} - Schweißnaht	13,5	17	17	25,5

1)Grenzspannungen des Ausnahmefalls anwendbar bei:
- wenn Zwängungsspannungen berücksichtigt werden, z.B. bei der Radlasteinleitung in die Kranbahnträger oder bei Fachwerk-Kranbahnträgern
- bei Anwendung der Kombinationsformel nach DIN 4132 Gl. 4
- wenn der Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren elastisch – plastisch geführt wird

Tabelle 10: Kappung von grenz σ_{Be} und grenz τ_{Be} auf die früheren "zulässigen Spannungen im Lastfall H" nach DIN 4132 Kap. 4.4.5

Quelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk Verlag, Berlin 2009, Tab. 8-5, S. 219

Beim Nachweis von Kehlnähten dürfen nach DIN 4132 Kap. 4.4.5 nur 60 % der ermittelten Grenzschubspannungen angesetzt werden.
Bei Kranen ab Beanspruchungsgruppe B4 wird eine außermittige Radlasteinleitung in die Kranschiene unterstellt. Die Radlasten müssen mit einer Außermittigkeit von ¼ der Schienenkopfbreite angesetzt werden und erzeugen somit eine Stegbiegung. Diese Stegbiegung ist zwingend bei der BFU zu berücksichtigen.
Es erfolgt keine Erläuterung der Berechnung von Kranen ab Beanspruchungsgruppe B4.

Zusammenfassend ist der Betriebsfestigkeitsnachweis wie folgt zu führen:

1. Auswahl eines Konstruktionsdetails
2. Bestimmung des Kerbfalls
3. Berechnung der Unter- und Oberspannung an der Nachweisstelle
4. Berechnung des Spannungsverhältnisses κ:
   Die betragsmäßig kleinere Spannung wird als Unterspannung definiert und durch die betragsmäßig größere Spannung (Oberspannung) dividiert – unter Berücksichtigung der Vorzeichen
5. Ermittlung der Grenzspannung
6. Nachweisführung

Eine Zusammenstellung möglicher Nachweisstellen für den Betriebsfestigkeitsnachweis ist in nachfolgender Tabelle angegeben. Weitere Nachweisstellen sind, je nach Konstruktion, zu ergänzen.

Nr.	NW-Stelle in Trägerlängsrichung	NW-Stelle im Querschnitt	Kerbfall	Nachzuweisende Spannung
1	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	K 453	$\bar{\sigma}_{\perp}$
2	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\perp}$
3	Überall	Stegansatz	W 13	$\bar{\sigma}_{z}$
4	Feld, maxM_y	Obergurt-Oberseite	K 123	σ_x
5	Auflager	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\parallel}+\tau_{\parallel}$
6	Auflager	Stegansatz	-	$\bar{\tau}_{xz}+\tau_{xz}$
...	...	...	...	...
Zusätzlich bei Mehrfeldträgern				
7	Mittelauflager	Obergurt-Unterseite	K333	σ_x
...	...	...	...	...

Tabelle 11: Nachweisstellen für den Betriebsfestigkeitsnachweis

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Lohse, W.: Stahlbau 2, 20. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden 2005, Tafel 5.10, S. 203

2.1.3.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird in der DIN 4132 nicht behandelt. Dies macht es erforderlich, Grenzwerte der zulässigen Verformung projektbezogen festzulegen. Im EC 3-6 (DIN EN 1993-6) dagegen sind Festlegungen bezüglich des Nachweises im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit klar geregelt. Ziel des Gebrauchstauglichkeitsnachweises ist es, Verformungen des Tragwerkes zu begrenzen, um einen störungsfreien und verschleißarmen Betrieb der Krananlage sicher zu stellen.

Im Folgenden werden die Grenzwerte für vertikale und horizontale Verformungen nach EC 3-6 vorgestellt.

Der nationale Anhang der DIN EN 1993-6 trifft Regelungen, die bei der Anwendung dieser Norm in Deutschland zu berücksichtigen sind:

Die horizontale Verschiebung des Tragwerkes in Höhe der Kranauflagerung, geregelt in Tab. 7.1, Zeile b), sowie die Änderung des Abstandes Δs der Schwerlinien der Kranschienen, geregelt in Tab. 7.1, Zeile e), brauchen nur mit Lasten infolge Kranbetrieb berechnet zu werden.

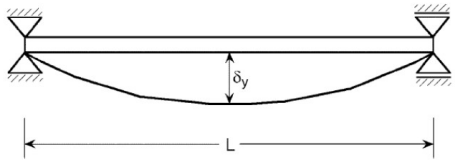
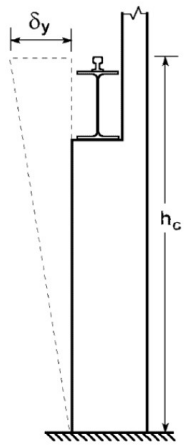
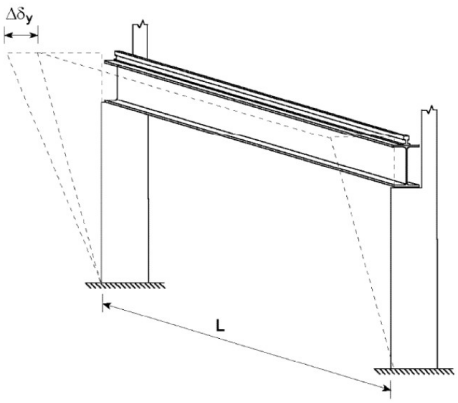
Des weiteren gelten für die Grenzwerte der horizontalen Verschiebung des Tragwerkes aus Tab. 7.1, Zeile b) die Werte der Tab. NA.2 in Abhängigkeit der Hubklasse.

Hubklasse	grenz δ_y
HC 1	h_c / 250
HC 2	h_c / 300
HC 3	h_c / 350
HC 4	h_c / 400

Tabelle 12: Grenzwerte für Verformungen

Quelle: DIN EN 1993-6/NA Tab. NA.2

Die vertikale Durchbiegung eines Kranbahnträgers, geregelt in Tab. 7.2, Zeile a), wird erweitert auf $\delta_z \leq L/500$ und $\delta_z \leq 25$ mm.

Beschreibung der Verformung (Durchbiegung oder Verschiebung)	Skizze
a) Horizontale Durchbiegung δ_y eines Kranbahnträgers in Höhe der Oberkante Kranschiene: $\delta_y \leq L / 600$	
b) Horizontale Verschiebung δ_y eines Tragwerks (oder einer Stütze) in Höhe der Kranauflagerung: $\delta_y \leq h_c/400$ Dabei ist h_c der Abstand zu der Ebene, in der der Kran gelagert ist (auf einer Kranschiene oder auf einem Flansch)	
c) Differenz $\Delta\delta_y$ der horizontalen Verschiebungen benachbarter Tragwerke (oder Stützen), auf denen Träger einer innen liegenden Kranbahn lagern. $\Delta\delta y \leq L/600$	
d) Differenz $\Delta\delta_y$ der horizontalen Verschiebungen benachbarter Stützen (oder Tragkonstruktionen), auf denen Träger einer außen liegenden Kranbahn lagern: – infolge der Lastfallkombination von seitlichen Krankräften und Windlast während des Betriebes: $\Delta\delta y \leq L/600$ – infolge Windlast außer Betrieb: $\Delta\delta y \leq L/400$	

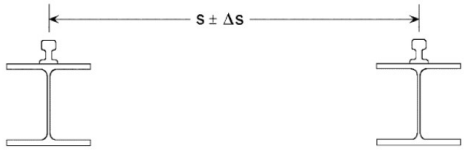
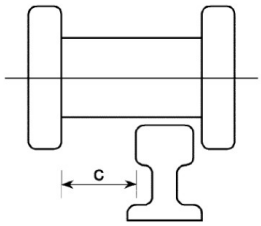
e) Änderung des Abstandes Δ_s der Schwerlinien der Kranschienen, einschließlich der Auswirkungen von Temperaturänderungen: $\Delta_s \leq 10$ mm [siehe Anmerkung]	
ANMERKUNG Horizontale Verformungen und Abweichungen von Kranbahnträgern werden bei der Berechnung von Kranbahnen gemeinsam berücksichtigt. Die zulässigen Verformungen und Toleranzen sind abhängig von der Detailausbildung und den Abständen der Kranführungsmittel. Unter der Voraussetzung, dass das Spiel *c* zwischen Spurkranz und Kranschiene (oder zwischen anderen Führungsmitteln und dem Kranbahnträger) ausreichend ist, um die erforderlichen Toleranzen aufzunehmen, können nach Vereinbarung zwischen dem Kranhersteller und dem Bauherrn auch größere Verformungsgrenzwerte für die einzelnen Projekte vereinbart werden.	

Tabelle 13: Grenzwerte für horizontale Verformung

Quelle: DIN EN 1993-6 Tab. 7.1

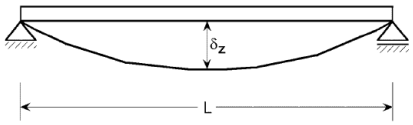
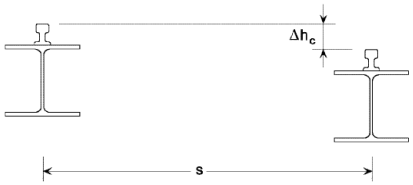
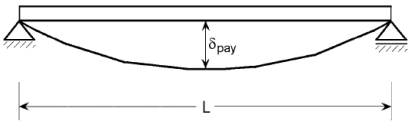
Beschreibung der Verformung (Durchbiegung und Verschiebung)	Skizze
a) Vertikale Durchbiegung δ_z eines Kranbahnträgers: $\delta_z \leq L/600$ und $\delta_z \leq 25$ mm Die vertikale Durchbiegung δ_z sollte als Gesamtdurchbiegung infolge vertikaler Lasten abzüglich möglicher Überhöhungen, analog zu δ_{max} in EN 1990, Bild A1.1 bestimmt werden.	
b) Differenz Δh_c der vertikalen Durchbiegung zweier benachbarter Träger, die eine Kranbahn bilden: $\Delta h_c \leq s/600$	
c) Vertikale Durchbiegung δ_{pay} infolge der Nutzlast eines Kranbahnträgers bei einer Unterflansch-Laufkatze: $\delta_{pay} \leq L/500$	

Tabelle 14: Grenzwerte für vertikale Verformung

Quelle: DIN EN 1993-6 Tab. 7.2

2.1.4 Ablaufdiagramme

Flussdiagramm zur Berechnung der Einwirkungen auf Tragwerke infolge Brückenlaufkrane mit Einzelradantrieb nach DIN 1055-10:2004-07

Antriebskraft K DIN 1055-10 Abs. 5.7.3

Eigengewicht der Kranbrücke $m_{Qc,Brücke}$,
Eigengewicht der Laufkatze $m_{Qc,Katze}$, Abstand der Kranbahnträger l, minimaler Abstand der Laufkatze von einem Kranbahnträger l_{min},
Anzahl der einzeln angetriebenen Räder m_W,
Reibungbeiwert μ=0,2 (Stahl/Stahl),
Erdbeschleunigung g= 9,81 m/s²

Berechnung der Summe der minimalen Last je Rad des unbelasteten Krans $\Sigma Q_{r,min}$

$$Q_{r,min} = \frac{1}{2*l} * \left(m_{Q_{c,Brücke}} * \frac{1}{2} + m_{Q_{c,Katze}} * l_{min} \right) * g$$

$$\sum Q_{r,min} = m_W * Q_{r,min}$$

Antriebskraft K

$$K = K_1 + K_2 = \mu * \sum Q_{r,min}$$

Antriebskraft K

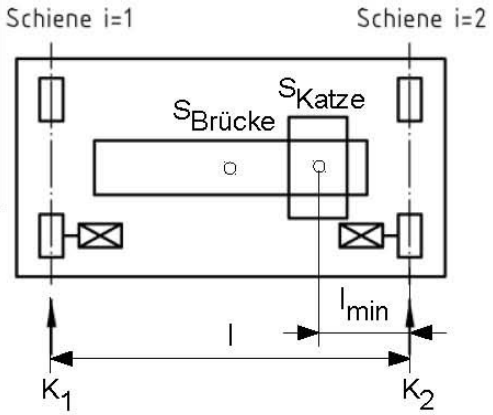


Abbildung: Systemmaße der Kranbrücke

Horizontale Lasten $H_{L,i}$ längs der Fahrbahn DIN 1055-10 Abs. 5.7.2

Antriebskraft K, Anzahl der Kranbahnträger n_r

Bestimmung des dynamischen Vergrößerungsfaktor φ_5 DIN 1055-10 Tab. 6

φ_5 = 1,0	für Fliehkräfte
1,0 ≤ φ_5 ≤ 1,5	für Systeme mit stetiger Veränderung der Kräfte
1,5 ≤ φ_5 ≤ 2,0	wenn plötzliche Veränderungen der Kräfte auftreten
φ_5 = 3,0	bei Antrieben mit beträchtlichem Spiel

Berechnung der horizontalen Lasten $H_{L,i}$ längs der Fahrbahn

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r}$$

Horizontalen Lasten $H_{L,i}$

Horizontale Lasten $H_{T,i}$ quer der Fahrbahn DIN 1055-10 Abs. 5.7.2

Eigengewicht der Kranbrücke $m_{Qc,Brücke}$,
Eigengewicht der Laufkatze $m_{Qc,Katze}$,
Hublast m_{Qc}, Abstand der Kranbahnträger l,
minimaler Abstand der Laufkatze von einem Kranbahnträger l_{min}, Antriebskraft K,
Rad- bzw. Führungrollenabstand a,
dynamischer Vergrößerunsfaktor φ_5,
Erdbeschleunigung g = 9,81 m/s²

Berechnung der Summe der maximalen Radlasten $Q_{r,max}$ je Kranbahn des belasteten Krans

$$\sum Q_{r,max} = \frac{1}{l} * \left(m_{Q_{c,Brücke}} * \frac{l}{2} + \left(m_{Q_{c,Katze}} + m_{Q_h} \right) * \left(l - l_{min} \right) \right) * g$$

Berechnung der Summe aus Eigengewicht und Hublast

$$\sum Q_r = \left(m_{Q_{c,Brücke}} + m_{Q_{c,Katze}} + m_{Q_h} \right) * g$$

Berechnung der Wichtungsfaktoren

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} \qquad \xi_2 = 1 - \xi_1$$

Berechnung des Abstandes des Masseschwerpunktes vom Antriebsschwerpunkt (Brückenmitte)

$$l_s = \left(\xi_1 - 0{,}5 \right) * l$$

Berechnung des Momentes infolge Anfahren/Bremsen

$$M = K * l_s$$

Berechnung der horizontale Lasten quer der Fahrbahn

$$H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a}$$

Horizontalen Lasten $H_{T,i}$

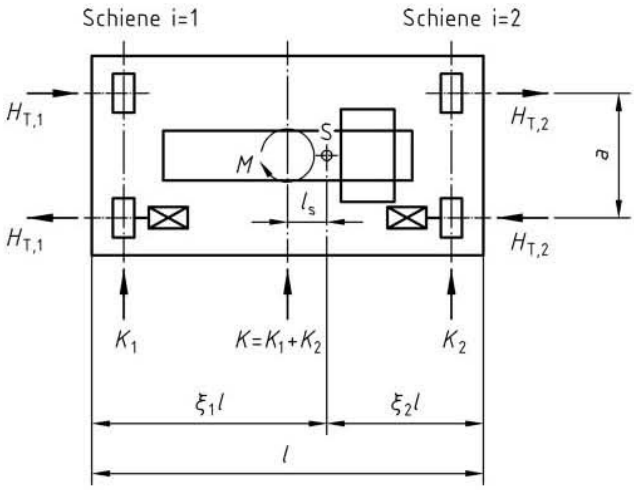


Abbildung: Horizontale Massekräfte $H_{T,i}$ quer zur Fahrbahn (DIN 1055-10 Bild 10)

Horizontale Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ und Führungskraft S infolge Schräglauf von Kranen DIN 1055-10 Abs. 5.7.4

Summe aus Eigengewicht und Hublast ΣQ_r,
Anzahl der Radpaare n, Radabstand a,
Schienenkopfbreite b

Berechnung des Schräglaufwinkel α nach DIN 1055-10 Tab. 7

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_o$$

Winkel α_i	Mindestwerte von α_i
$\alpha_F = \frac{0{,}75x}{a}$	$0{,}75x \geq 5$ mm bei Führungsrollen
	$0{,}75x \geq 10$ mm bei Spurkränzen
$\alpha_V = \frac{y}{a}$	$y \geq 0{,}03b$ in mm bei Führungsrollen
	$y \geq 0{,}10b$ in mm bei Spurkränzen
$\alpha_o = 0{,}001$	

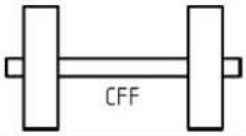
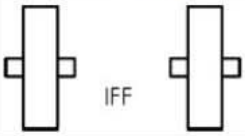
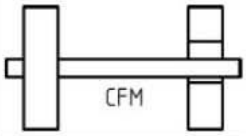
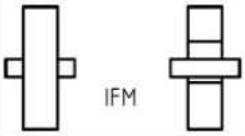
Dabei ist

- a der Abstand der Führungsrollen bzw. der Spurkränze;
- b die Schienenkopfbreite;
- x der Querschlupf;
- y der Verschleiß der Schiene.

Berechnung des Kraftschlussbeiwerts

$$f = 0{,}3 * \left(1 - e^{-250 * \alpha}\right)$$

Berechnung des Abstandes zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel DIN 1055-10 Tab. 8

Radaufhängung	Kombination von Radpaaren: Gekoppelt (C)	Kombination von Radpaaren: Unabhängig (I)	h
Fest/Fest FF			$\frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$
Fest/Beweglich FM			$\frac{m \cdot \xi_1 \cdot l^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$

Dabei ist

- h der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel;
- m die Anzahl der Paare mit gekoppelten Rädern ($m = 0$ für unabhängige Radpaare);
- $\xi_1 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 1;
- $\xi_2 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 2;
- l die Spannweite des Krans;
- e_j der Abstand zwischen der Radpaarachse j und dem relevanten Führungsmittel.

Bestimmung der Kraftbeiwerte $\lambda_{S,i,j,k}$ nach DIN 1055-10 Tab. 9

System	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1-\frac{\sum e_j}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \cdot \left(1-\frac{\sum e_j}{n \cdot h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \cdot \frac{l}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{n} \frac{l}{h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1-\frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Dabei ist

n die Anzahl der Radpaare;

$\xi_1 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 1;

$\xi_2 \cdot l$ der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und der Kranbahnachse 2;

l die Spannweite des Krans;

e_j der Abstand zwischen der Radpaarachse j und dem relevanten Führungsmittel;

h der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel.

Berechnung der Horizontale Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ und Führungskraft S

$$S = f * \lambda_S * \sum Q_r$$

$$H_{S,1,j,L} = f * \lambda_{S,1,j,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{S,2,j,L} = f * \lambda_{S,2,j,L} * \sum Q_r = 0$$

$$H_{S,1,j,T} = f * \lambda_{s,1,j,T} * \sum Q_r$$

$$H_{S,2,j,T} = f * \lambda_{s,2,j,T} * \sum Q_r$$

Horizontale Seitenlasten $H_{S,i,j,k}$ und Führungskraft S

Schräglaufkraft S und Horizontallasten H_S

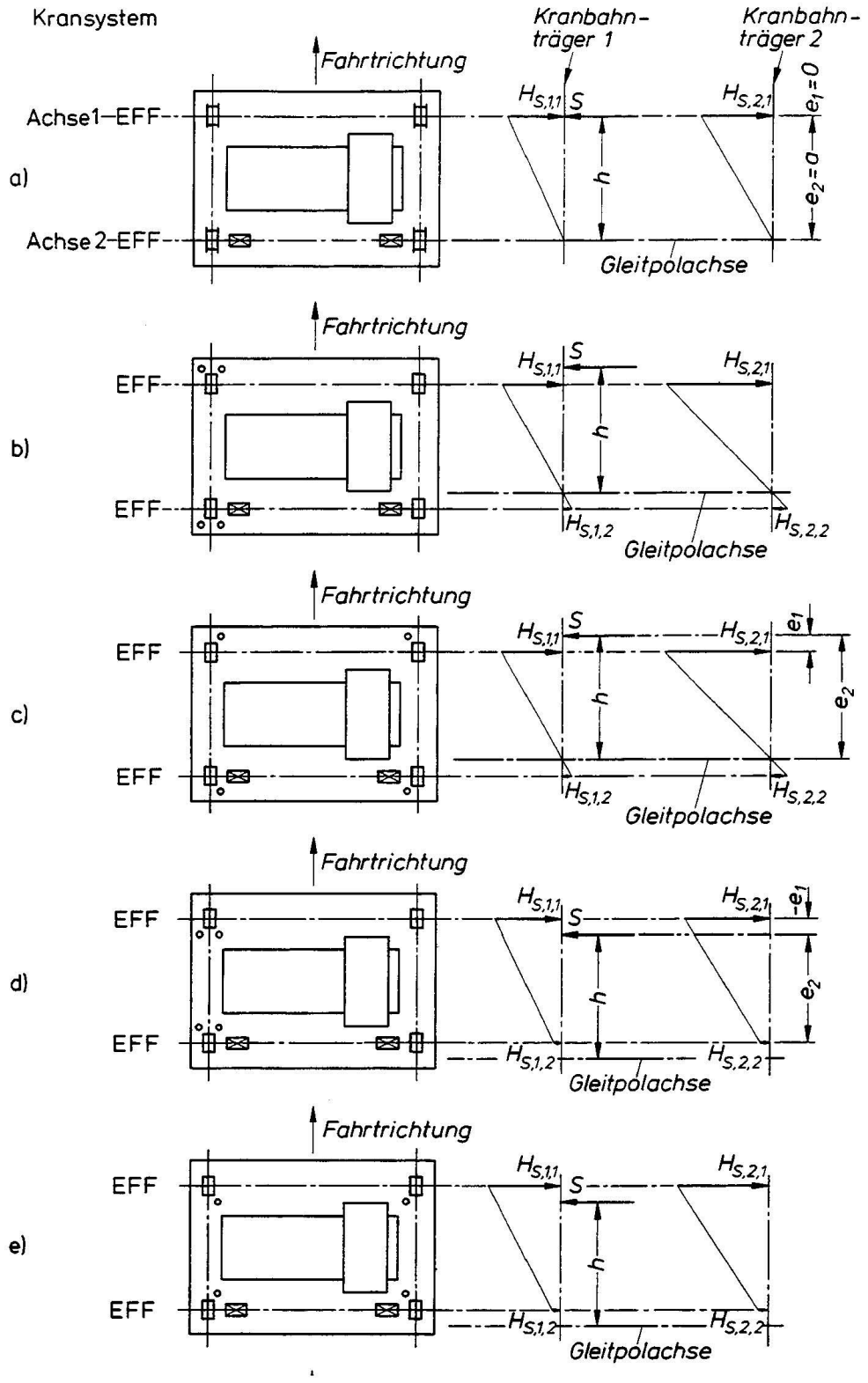


Abbildung: Schräglaufkraft S und Horizontallasten (Bildausschnitt: DIN 4132, Beiblatt 1; Bild 5)

Cullmannsche Laststellung für Einfeldträger

Feldlänge l, Radlasten F_1 und F_2, Radabstand a

Ermittlung des Angriffspunktes der Resultierenden aus der ΣF_i

es gilt $F_1 \geq F_2$

$$c = \frac{a * F_2}{\sum F_i}$$

Stehen beide Räder auf dem Einfeldträger?

Nein

Maximales Feldmoment max M

$$\max M = \frac{F_1 * l}{4}$$

Ja

Berechnung der Auflagerkraft A

$$A = \frac{1}{l}\left(\sum F_i * \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{2}\right)\right)$$

Berechnung des maximalen Feldmomentes max M

$$\max M = A * \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{2}\right)$$

Maximales Feldmoment max M

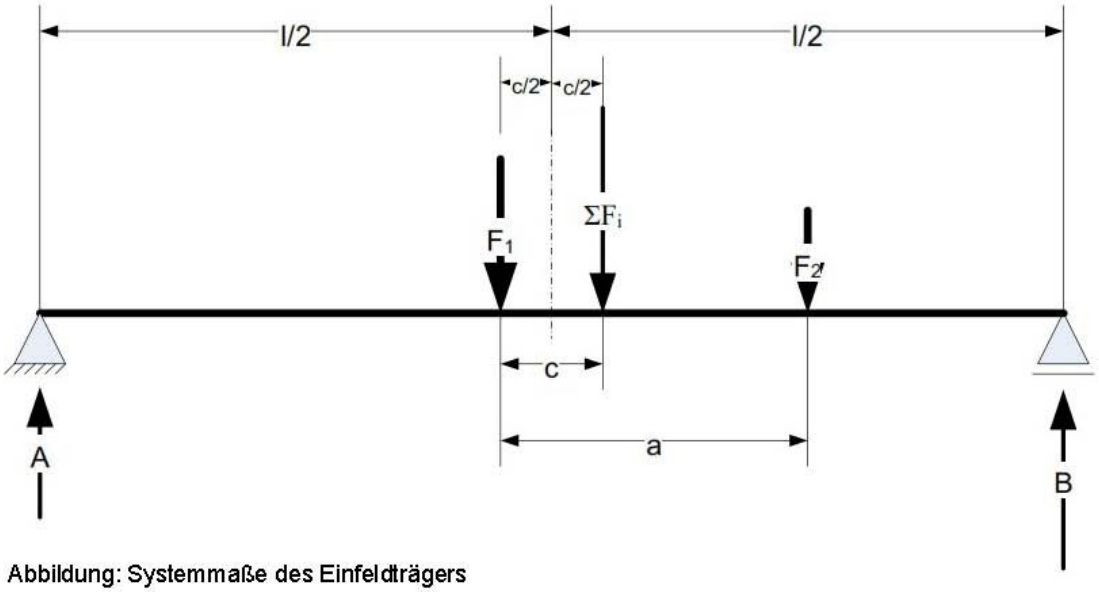


Abbildung: Systemmaße des Einfeldträgers

Maximale Schnittgrößen und Auflagerkräfte für Zweifeldträger nach Rose

Feldlänge l, Radlasten F_1 und F_2,
Radabstand a

Hilfswerte
es gilt $F_1 \geq F_2$

$$\alpha = \frac{a}{l} \quad \beta = \frac{F_2}{F_1}$$

Ablesen bzw. linear interpolieren der Tafelwerte
γ_{MF}, γ_{Mst}, γ_A, γ_B, γ_{min}, M_F, ξ_{MF} und ξ_{MSt}

Maximales Feldmoment	$\max M_{y,F} = \gamma_{MF} * F_1 * l$ bei $x_{MF} = l * \xi_{MF}$
Extremales Stützmoment	$\max M_{y,St} = -\gamma_{MSt} * F_1 * l$ bei $x_{MSt} = l * \xi_{MSt}$
Maximales Randauflagekraft	$\max A = \gamma_A * F_1$
Maximale Mittenauflagekraft	$\max B = \gamma_B * F_1$
Minimales Moment an der Stelle x	$\min M_{y,F} = -\gamma_{min\,MF} * F_1 * x/10$

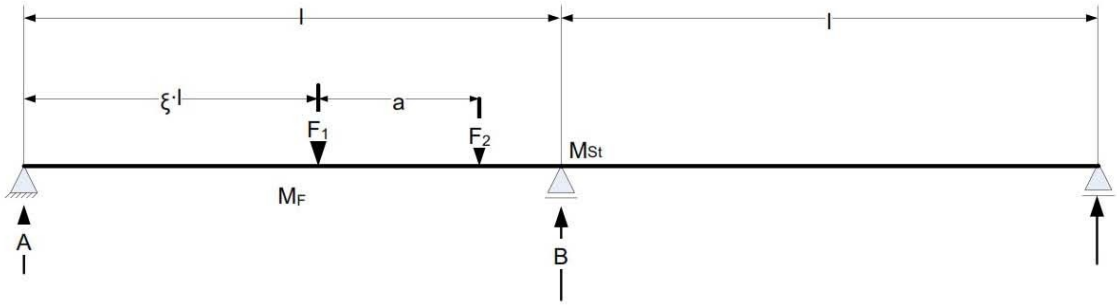


Abbildung: Systemmaße des Zweifeldträgers

Tafelwerte zur Berechnung von zweifeldrigen Kranbahnträgern

γ_{MF}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,415	0,394	0,373	0,332	0,290
0,1	0,369	0,353	0,337	0,304	0,272
0,2	0,328	0,316	0,304	0,279	0,255
0,3	0,292	0,283	0,274	0,257	0,240
0,4	0,260	0,254	0,248	0,237	0,227
0,5	0,233	0,229	0,226	0,221	0,216
0,6	0,210	0,209	0,208	0,207	0,207
0,7 *)	0,193	0,193	0,194	0,197	0,200
0,8 *)	0,180	0,182	0,185	0,189	0,195
0,9 *)	0,172	0,175	0,178	0,185	0,192
1,0 *)	0,169	0,172	0,176	0,183	0,191

*) $\gamma_{MF} > 0{,}207$, wenn Räder Träger verlassen

γ_{MSt}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,193	0,183	0,173	0,154	0,135
0,1	0,190	0,181	0,171	0,152	0,134
0,2	0,184	0,175	0,166	0,147	0,130
0,3	0,173	0,165	0,156	0,139	0,123
0,4	0,159	0,151	0,143	0,127	0,114
0,44	0,152	0,145	0,138	0,124	0,110
0,5	0,164	0,156	0,148	0,133	0,118
0,6	0,179	0,170	0,161	0,144	0,127
0,7	0,188	0,177	0,169	0,150	0,132
0,8	0,192	0,182	0,173	0,154	0,135
1,0	0,188	0,178	0,169	0,150	0,132

γ_A	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	2,000	1,900	1,800	1,600	1,400
0,1	1,875	1,788	1,700	1,525	1,350
0,2	1,752	1,677	1,602	1,451	1,301
0,3	1,632	1,569	1,505	1,379	1,253
0,4	1,516	1,464	1,413	1,310	1,206
0,5	1,406	1,366	1,325	1,244	1,163
0,6	1,304	1,274	1,243	1,182	1,122
0,7	1,211	1,190	1,169	1,127	1,084
0,8	1,128	1,115	1,102	1,077	1,051
0,9	1,057	1,052	1,046	1,034	1,023
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

γ_B	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	2,000	1,900	1,800	1,600	1,400
0,1	1,993	1,893	1,793	1,595	1,396
0,2	1,971	1,873	1,774	1,578	1,384
0,3	1,936	1,839	1,743	1,552	1,364
0,4	1,888	1,794	1,696	1,516	1,337
0,5	1,828	1,737	1,647	1,472	1,304
0,6	1,757	1,670	1,584	1,419	1,265
0,7	1,675	1,593	1,512	1,359	1,220
0,8	1,584	1,506	1,431	1,292	1,171
0,9	1,484	1,411	1,343	1,219	1,119
1,0	1,375	1,309	1,247	1,141	1,063

ξ_{MF}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
0,1	0,412	0,413	0,414	0,417	0,421
0,2	0,393	0,396	0,398	0,404	0,411
0,3	0,377	0,381	0,384	0,393	0,403
0,4	0,364	0,368	0,373	0,384	0,397
0,5	0,354	0,359	0,365	0,378	0,393
0,6	0,347	0,354	0,361	0,376	0,393
0,7	0,348	0,355	0,363	0,378	0,395
0,8	0,353	0,360	0,368	0,383	0,399
0,9	0,363	0,370	0,377	0,391	0,405
1,0	0,377	0,383	0,389	0,401	0,412

ξ_{MSt}	β				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
0,1	0,525	0,528	0,531	0,538	0,547
0,2	0,469	0,474	0,480	0,494	0,513
0,3	0,408	0,416	0,425	0,446	0,476
0,4	0,342	0,352	0,364	0,394	0,434
<0,44	0,316	0,326	0,340	0,373	0,417
>0,44	0,780	0,771	0,760	0,736	0,702
0,5	0,750	0,742	0,733	0,712	0,683
0,6	0,700	0,694	0,688	0,672	0,651
0,8	0,600	0,599	0,597	0,594	0,590
1,0	0,500	0,504	0,509	0,521	0,535

γ_{minMF}	β – Räder können Träger verlassen				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	1,92	1,82	1,73	1,54	1,34
0,1	1,90	1,8	1,71	1,52	1,33
0,2	1,83	1,74	1,65	1,47	1,30
0,3	1,73	1,65	1,56	1,40	1,23
0,4	1,57	1,51	1,44	1,30	1,17
0,5	1,40	1,33	1,28	1,18	1,08
0,6	1,20	1,15	1,11	1,04	0,99
0,7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
0,8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
0,9	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
1,0	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96

γ_{minMF}	β – Beide Räder bleiben auf Träger				
α	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
0,0	1,92	1,82	1,73	1,54	1,34
0,1	1,90	1,8	1,71	1,52	1,33
0,2	1,83	1,74	1,65	1,47	1,30
0,3	1,73	1,65	1,56	1,40	1,23
0,4	1,57	1,51	1,44	1,30	1,17
0,5	1,40	1,33	1,28	1,18	1,08
0,6	1,20	1,15	1,11	1,04	0,99
0,7	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
0,8	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
0,9	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
1,0	0	0	0	0	0

Tabelle: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk Verlag, Berlin 2009; Tab. 4-1

Spannungsnachweise DIN 18800-1

Schnittgrößen M_y, M_z und V_z ,Radlast F, Schräglaufkraft H^*_S, Querschnittswerte des Kranbahnträgers und der Schiene (h, s, t, r, A_{Steg}, I_y, W_y, W_z, $h_{Schiene}$, $b_{Schiene}$), Kehlnahtdicke a_w (Schiene/OG), Streckgrenze $f_{y,k}$,

Berechnung der Radlasteinleitungslänge

$$c = 2 * (t + h_{0,75*Schiene} + r) + 5cm$$

Flächenmoment 1. Grades der Schiene $S_{y,Schiene}$

$$S_{y,Schiene} \approx A_{Schiene} * \left(\frac{h}{2} + \frac{h_{Schiene*0,75}}{2} \right)$$

Widerstandsmoment des Obergurtes $W_{z,OG}$

$$W_{z,OG} \approx \frac{W_z}{2} = \frac{571}{2} = 285{,}5\,cm^3$$

Festlegung der zu untersuchenden Nachweisstellen

Nr.	NW-Stelle in Trägerlängsrichung	NW-Stelle im Querschnitt	Zu berücksichtigende Schnittgrößen	Nachzuweisende Spannung
1	Feld 1. max M_y 2. max M_z	Außenkante Obergurt	M_y, M_z	σ_x
2	lokal	Stegansatz	Radlasteinleitung F	$\bar{\sigma}_z$
3	Feld	Stegansatz	max M_y, Radlasteinleitung F	σ_x, τ_{xz}, $\bar{\sigma}_z$
4	Auflager	Stegansatz	max V_z, Radlasteinleitung F	τ_{xz}, $\bar{\sigma}_z$
5	Auflager	Kehlnaht Schiene/Obergurt	max V_z, Radlasteinleitung F	$\tau_{\parallel}$, $\bar{\tau}_{\perp}$, $\bar{\sigma}_{\perp}$
...	...	...	...	...

Nachweis der festgelegten Stellen

Berechnung der Spannungen σ_d bzw. τ_d

Nachweise (DIN 18800 – 1 El. 747): $\frac{\sigma_d}{\sigma_{r,d}} \leq 1$ $\frac{\tau_d}{\tau_{r,d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{v,d}}{\sigma_{r,d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{v,d}}{\sigma_{w,r,d}} \leq 1$

Hinweise zum Spannungsnachweis

Berechnung der Spannungen

Radlasteinleitungsspannung $\bar{\sigma}_z = \frac{F}{c * s}$ $\quad \bar{\tau}_{\perp,k} = \frac{H_s^*}{(b_{Schiene} + 5\,cm)\,2 * a_w}$

Lastfallkombination DIN 18800-1 El. 710

$$\sigma_{1,d} = \gamma_F * \text{ständige Einwirkung} + \gamma_F * \text{veränderliche Einwirkung}$$
$$= 1{,}35 * \text{ständige Einwirkung} + 1{,}5 * \text{veränderliche Einwirkung}$$
$$\sigma_{2,d} = \gamma_F * \text{ständige Einwirkung} + \gamma_F * \psi_1 * \sum \text{veränderliche Einwirkungen}$$
$$= 1{,}35 * \text{ständige Einwirkung} + 1{,}5 * 0{,}9 \sum \text{veränderliche Einwirkungen}$$

Vergleichsspannungen

Grundmaterial (DIN 18800 – 1 El. 748):

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x * \sigma_y - \sigma_x * \sigma_z - \sigma_y * \sigma_z + 3 * \tau_{xy}^2 + 3 * \tau_{xz}^2 + 3 * \tau_{yz}^2}$$

Schweißnaht (DIN 18800 – 1 El. 825):

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_\perp^2 + \tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2}$$

Nahtdickenbegrenzung für Kehlnähte DIN 18800-1 El. 519

$$2mm \leq a \leq 0{,}7 \min t$$

Empfehlung: $\max t \geq 30mm \longrightarrow a \geq 5mm$

Grenzspannungen

Grundmaterial (DIN 18800 – 1 El. 746): $\sigma_{r,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $\quad \tau_{r,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}}$

Schweißnaht (DIN 18800 – 1 El. 829): $\sigma_{w,r,d} = \alpha_w * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$

α_w-Werte für Grenzschweißnahtspannungen DIN 18800-1 Tab. 21

	1	2	3	4	5	6	7
	Nähte nach Tabelle 19	**Nahtgüte**	**Beanspruchungsart**	**S235 GS200, GS240, G17Mn5+QT**	**S275, P275**	**S355, P355 G20Mn5+N, G20Mn5+QT**	**S420, S450, S460**
1	Zeilen 1 bis 4	alle Nahtgüten	Druck	1,0 [a]	1,0 [a]	1,0 [a]	1,0 [a]
2		Nahtgüte nachgewiesen	Zug, Schub				
3		Nahtgüte nicht nachgewiesen		0,95	0,85	0,80	0,70
4	Zeilen 5 bis 15	alle Nahtgüten	Druck, Zug, Schub				

[a] Diese Nähte brauchen im Allgemeinen rechnerisch nicht nachgewiesen zu werden, da der Bauteilwiderstand maßgebend ist.

BDK-Nachweis als Nachweis des Obergurtes gegen Biegeknicken

Feldmoment $M_{y,d}$ und zugehöriges Feldmoment $M_{z,d}$, Stützweite l, Querschnittswerte des Kranbahnträgers (h, b, s, t, A, I_y), Streckgrenze $f_{y,k}$, Knicklängenbeiwert β

Querschnittswerte des Obergurtes + 1/5 Steg

$$A_{OG} = b * t + \frac{h - 2 * t}{5} * s$$

$$S_{y,OG} = \sum A_{i,OG} * z_{S,i}$$

$$S_{z,OG} = \sum A_{i,OG} * y_{S,i}$$

$$I_{z,OG} = \sum I_{z,i}$$

$$W_{z,OG} = \sum \frac{I_{z,OG}}{\frac{b}{2}}$$

$$i_{z,OG} = \sqrt{I_{z,OG} * A_{OG}}$$

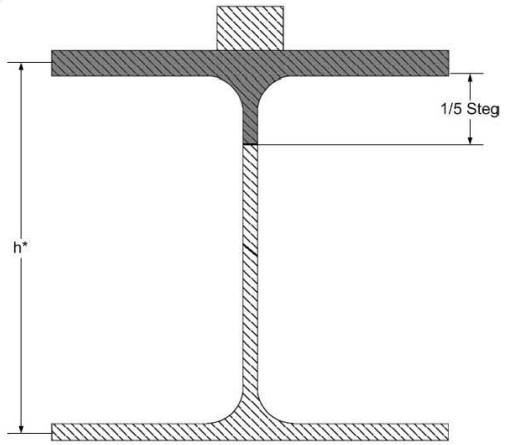


Abbildung: Trägerquerschnitt

Vollplastische Schnittgrößen des Druckgurtes + 1/5 Steg

$$N_{OG,pl,d} A_{OG} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$M_{z,OG,pl,d} = 2 * S_{z,OG} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \leq 1{,}25 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} * W_{z,OG}$$

Normalkraft im Obergurt + 1/5 Steg

$$N_d = \frac{M_{y,d} * S_{y,OG}}{I_y} \quad \text{vereinfacht} \quad N_d \approx \frac{M_{y,d}}{h^*} \quad \text{mit } h^* = h - t$$

Nachweis des Obergurtes gegen Biegeknicken DIN 18800-2, EL. 314

Knicklänge $s_k = \beta * l$

Schlankheitsgrad $\lambda_k = \frac{s_k}{i_{z,OG}}$

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_a}$

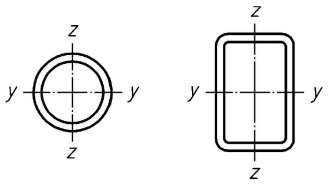
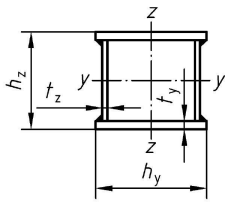
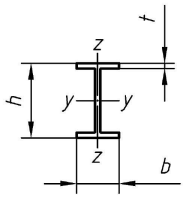
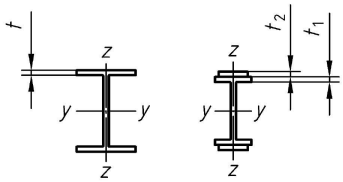
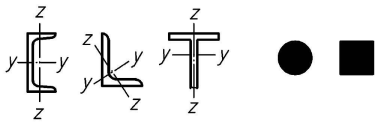
Festlegung der Knickspannungslinie und Bestimmung des Abminderungsfaktors κ

Berechnung von $\Delta n_1 = \frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} * \left(1 - \frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}}\right) * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 \leq 0{,}1$

Bestimmung des Momentenbeiwertes β_m für Biegeknicken DIN 18800−2 Tab.11

Biegeknicknachweis $\frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} + \frac{\beta_m * M_{1,z,d}}{M_{z,OG,pl,d}} \leq 1{,}0$

Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien
DIN 18000-2:2008-11 Tab. 5

	1		2	3
	Querschnitt		**Ausweichen rechtwinklig zur Achse**	**Knick-spannungs linie**
1	Hohlprofile 	warm gefertigt	y – y z – z	a[a]
		kalt gefertigt	y — y z — z	b[a]
2	geschweißte Kastenquerschnitte 		y – y z – z	b
		dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	y – y z – z	c
3	gewalzte I-Profile 	$h/b > 1{,}2$; $t \leq 40$ mm	y – y z – z	a[a] b[a]
		$h/b > 1{,}2$; $40 < t \leq 80$ mm	y – y z – z	b[a]
		$h/b \leq 1{,}2$; $t \leq 80$ mm		c[a]
		$t > 80$ mm	y – y z – z	d[a]
4	geschweißte I-Querschnitte 	$t_i \leq 40$ mm	y – y z – z	c c
		$t_i > 40$ mm	y – y z – z	c d
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte  und mehrteilige Stäbe nach 4.4		y – y z – z	c
6	Hier nicht aufgeführte Profile sind sinngemäß einzuordnen. Die Einordnung soll dabei nach den möglichen Eigenspannungen und Blechdicken erfolgen.			

[a] Bei Bauteilen aus den Stahlsorten S460 darf a_0 statt a, a statt b, b statt c und c statt d verwendet werden.

Abminderungsfaktor κ für Biegeknicken

Parameter α zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ DIN 18800-2:2008-11 Tab. 4

Knickspannungslinie	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0.34	0,49	0,76

Berechnung des Abminderungsfaktors κ

$$\bar{\lambda}_k \leq 0{,}2: \quad \kappa = 1$$

$$\bar{\lambda}_k > 0{,}2: \quad \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{5}\,\lambda_k^2}} \quad \text{mit} \quad k = 0{,}5 * \left[1 + \alpha * \left(\bar{\lambda}_k - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_k^2\right]$$

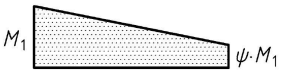
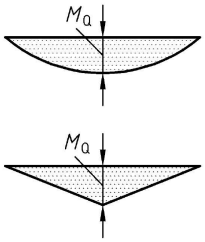
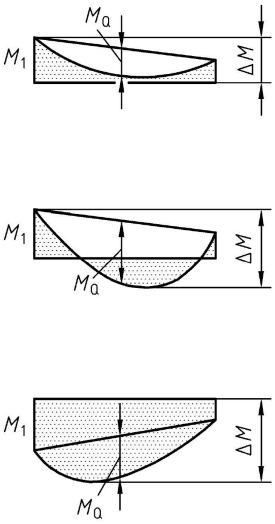
$$\bar{\lambda}_k > 3{,}0: \quad \kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_k * \left(\bar{\lambda}_k + \alpha\right)}$$

Bestimmung des Abminderungsfaktors κ aus Tabellen

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k$ für Knickspannungslinie: a	b	c	d	κ	Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k$ für Knickspannungslinie: a	b	c	d	κ
0,20	0,20	0,20	0,20	**1,00**	1,17	1,08	0,98	0,85	**0,55**
0,25	0,23	0,22	0,21	**0,99**	1,18	1,09	1,00	0,87	**0,54**
0,29	0,26	0,24	0,23	**0,98**	1,20	1,11	1,02	0,88	**0,53**
0,33	0,28	0,26	0,24	**0,97**	1,22	1,13	1,03	0,90	**0,52**
0,37	0,31	0,28	0,25	**0,96**	1,23	1,14	1,05	0,92	**0,51**
0,41	0,34	0,30	0,26	**0,95**	1,25	1,16	1,07	0,94	**0,50**
0,45	0,36	0,32	0,28	**0,94**	1,27	1,18	1,09	0,96	**0,49**
0,48	0,39	0,34	0,29	**0,93**	1,28	1,20	1,11	0,98	**0,48**
0,51	0,42	0,36	0,30	**0,92**	1,30	1,22	1,13	0,99	**0,47**
0,54	0,44	0,38	0,32	**0,91**	1,32	1,23	1,15	1,01	**0,46**
0,57	0,46	0,39	0,33	**0,90**	1,34	1,25	1,17	1,03	**0,45**
0,60	0,49	0,41	0,35	**0,89**	1,36	1,27	1,19	1,05	**0,44**
0,63	0,51	0,43	0,36	**0,88**	1,38	1,29	1,21	1,08	**0,43**
0,65	0,53	0,45	0,37	**0,87**	1,40	1,31	1,23	1,10	**0,42**
0,67	0,55	0,47	0,39	**0,86**	1,42	1,34	1,25	1,12	**0,41**
0,70	0,57	0,49	0,40	**0,85**	1,44	1,36	1,27	1,14	**0,40**
0,72	0,59	0,51	0,41	**0,84**	1,46	1,38	1,30	1,17	**0,39**
0,74	0,61	0,52	0,43	**0,83**	1,48	1,40	1,32	1,19	**0,38**
0,76	0,63	0,54	0,44	**0,82**	1,51	1,43	1,35	1,22	**0,37**
0,77	0,65	0,56	0,46	**0,81**	1,53	1,45	1,37	1,24	**0,36**
0,79	0,67	0,58	0,47	**0,80**	1,56	1,48	1,40	1,27	**0,35**
0,81	0,69	0,59	0,48	**0,79**	1,58	1,51	1,43	1,30	**0,34**
0,83	0,71	0,61	0,50	**0,78**	1,61	1,53	1,45	1,32	**0,33**
0,84	0,72	0,63	0,51	**0,77**	1,64	1,56	1,48	1,35	**0,32**
0,86	0,74	0,64	0,53	**0,76**	1,67	1,59	1,51	1,39	**0,31**
0,88	0,76	0,66	0,54	**0,75**	1,70	1,63	1,55	1,42	**0,30**
0,89	0,77	0,68	0,56	**0,74**	1,73	1,66	1,58	1,45	**0,29**
0,91	0,79	0,69	0,57	**0,73**	1,76	1,69	1,61	1,49	**0,28**
0,92	0,81	0,71	0,59	**0,72**	1,80	1,73	1,65	1,53	**0,27**
0,94	0,82	0,72	0,60	**0,71**	1,84	1,77	1,69	1,56	**0,26**
0,95	0,84	0,74	0,61	**0,70**	1,88	1,81	1,73	1,60	**0,25**
0,96	0,86	0,76	0,63	**0,69**	1,92	1,85	1,78	1,65	**0,24**
0,98	0,87	0,77	0,64	**0,68**	1,97	1,90	1,82	1,69	**0,23**
0,99	0,89	0,79	0,66	**0,67**	2,01	1,95	1,87	1,74	**0,22**
1,01	0,90	0,80	0,67	**0,66**	2,07	2,00	1,92	1,80	**0,21**
1,02	0,92	0,82	0,69	**0,65**	2,12	2,05	1,98	1,85	**0,20**
1,04	0,93	0,84	0,70	**0,64**	2,18	2,11	2,04	1,91	**0,19**
1,05	0,95	0,85	0,72	**0,63**	2,24	2,18	2,10	1,98	**0,18**
1,07	0,96	0,87	0,74	**0,62**	2,31	2,25	2,17	2,05	**0,17**
1,08	0,98	0,88	0,75	**0,61**	2,39	2,32	2,25	2,12	**0,16**
1,09	1,00	0,90	0,77	**0,60**	2,47	2,40	2,33	2,21	**0,15**
1,11	1,01	0,92	0,78	**0,59**	2,56	2,50	2,42	2,30	**0,14**
1,12	1,03	0,93	0,80	**0,58**	2,66	2,60	2,53	2,40	**0,13**
1,14	1,04	0,95	0,82	**0,57**	2,78	2,71	2,64	2,52	**0,12**
1,15	1,06	0,97	0,83	**0,56**	2,91	2,84	2,77	2,65	**0,11**
					3,06	2,99	2,92	2,79	**0,10**

Abbildung: Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Werner Verlag, Köln 2008; Tafel 8.38

Momentenbeiwerte DIN 18800-2:2008-11 Tab. 11

	1	2	3
	Momentenverlauf	**Momentenbeiwerte** β_m **für Biegeknicken**	**Momentenbeiwerte** β_M **für Biegedrillknicken und Biegeknicken**
1	Stabendmomente  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{m,\psi} = 0{,}66 + 0{,}44\ \psi$ jedoch $\beta_{m,\psi} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{Ki}}$ und $\beta_{m,\psi} \geq 0{,}44$	$\beta_{M,\psi} = 1{,}8 - 0{,}7\ \psi$
2	Momente aus Querlast 	$\beta_{m,Q} = 1{,}0$	$\beta_{M,Q} = 1{,}3$ $\beta_{M,Q} = 1{,}4$
3	Momente aus Querlasten mit Stabendmomenten 	$\psi \leq 0{,}77$: $\beta_m = 1{,}0$ $\psi > 0{,}77$: $\beta_m = \frac{M_Q + M_1 \cdot \beta_{m,\psi}}{M_Q + M_1}$	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}\right)$ $M_Q = \lvert \max M \rvert$ nur aus Querlast $\Delta M = \begin{cases} \lvert \max M \rvert & \text{bei nicht durchschlagendem Momentenverlauf} \\ \lvert \max M \rvert + \lvert \min M \rvert & \text{bei durchschlagendem Momentenverlauf} \end{cases}$

Biegedrillknicknachweis nach dem Ersatzstabverfahren DIN 18800-2 EL. 323

Feldmoment $M_{y,d}$ und zugehöriges Feldmoment $M_{z,d}$, Schräglaufkraft $H^*_{S,k}$, Stützweite l, Querschnittswerte des Kranbahnträgers und der Schiene (h, b, s, t, A, I_y, λ (Abklingfaktor), $h_{Schiene}$, $b_{Schiene}$), Biegemomente im plastischen Zustand, Streckgrenze $f_{y,k}$, E-Modul

Berechnung des Abstandes der Schienenoberkante zum Schubmittelpunkt (=Schwerpunkt) des Kranbahnträgers

$$e_z = \frac{h}{2} + h_{Schiene}$$

Berechnung des Torsionsmoments $M_{T,d}$

$$M_{T,d} = \gamma_F * \psi * H^*_{S,k} * e_z$$

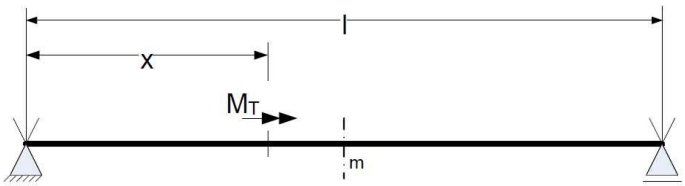


Abbildung: Systemmaße am Einfeldträger

Umrechnung des Torsionsmoments in ein Zusatzbiegemoment $M^*_{z,d}$

$$M_{\omega,d} = \frac{M_{T,d}}{\lambda} * \left(\frac{\sinh(\lambda*(1-x))}{\sinh(\lambda*1)} * \sinh(\lambda*x) \right)$$

$$M^*_{z,d} = 2 * \frac{M_{\omega,d}}{h-t}$$

vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, darf $M^*_{z,d} = M^\circ_{z,d}$ angenommen werden

BDK-Nachweis DIN 18800-2 El. 321

Ideales Biegedrillknickmoment $M_{ki,y,d}$ DIN 18800−2 Gl. 20:

Einschränkung: $h < 600mm$

$$M_{ki,y,d} = \frac{1{,}32 * b * t * E * I_y}{1 * h^2 * \gamma_M}$$

Bezogener Schlankheitsgrad: $\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,d}}{M_{ki,y,d}}}$

Bestimmung des Trägerbeiwertes n und des Abminderungsfaktors κ_M

Beiwerte zur Berücksichtigung des Momentenverlaufes:

$k_y = 1{,}0$ und $k_z = 1{,}0$ da, keine Normalkraft berücksichtigt wird DIN 18800−2 El. 321

Biegedrillknicknachweis: $\frac{M_{1,y,d}}{\kappa_M * M_{pl,y,d}} * k_y + \frac{M_{1,z,d} + M^*_{1,z,d}}{M_{pl,z,d}} * k_z \leq 1{,}00$

Abminderungsfaktor κ_M DIN 18800-2

Berechnung des Abminderungsfaktor κ_M DIN 18800-2 Gl. 17-18

$$\kappa_M = 1 \quad \text{für } \bar{\lambda}_M \leq 0{,}4$$

$$\kappa_M = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^{2n}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{für } \bar{\lambda}_M > 0{,}4$$

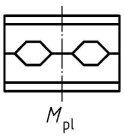
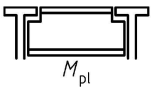
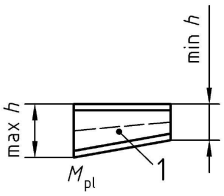
Bestimmung des Abminderungsfaktor κ_M aus Tabellen

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M$ für Trägerbeiwert: $n = 1{,}5$	$n = 2{,}0$	$n = 2{,}5$	κ_M	Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M$ für Trägerbeiwert: $n = 1{,}5$	$n = 2{,}0$	$n = 2{,}5$	κ_M
0,40	0,40	0,40	**1,00**	1,13	1,23	1,28	**0,55**
		0,48	**0,99**	1,15	1,25	1,30	**0,54**
	0,45	0,55	**0,98**	1,17	1,26	1,31	**0,53**
	0,50	0,60	**0,97**	1,19	1,28	1,33	**0,52**
	0,54	0,64	**0,96**	1,20	1,30	1,34	**0,51**
0,43	0,57	0,67	**0,95**	1,22	1,32	1,36	**0,50**
0,46	0,60	0,70	**0,94**	1,24	1,33	1,38	**0,49**
0,49	0,63	0,72	**0,93**	1,26	1,35	1,39	**0,48**
0,51	0,65	0,75	**0,92**	1,28	1,37	1,41	**0,47**
0,53	0,68	0,77	**0,91**	1,30	1,39	1,43	**0,46**
0,56	0,70	0,79	**0,90**	1,32	1,41	1,45	**0,45**
0,58	0,72	0,81	**0,89**	1,34	1,43	1,47	**0,44**
0,60	0,73	0,82	**0,88**	1,37	1,45	1,49	**0,43**
0,61	0,75	0,84	**0,87**	1,39	1,47	1,51	**0,42**
0,63	0,77	0,86	**0,86**	1,41	1,49	1,53	**0,41**
0,65	0,79	0,87	**0,85**	1,43	1,51	1,55	**0,40**
0,67	0,80	0,89	**0,84**	1,46	1,54	1,57	**0,39**
0,69	0,82	0,90	**0,83**	1,48	1,56	1,59	**0,38**
0,70	0,84	0,92	**0,82**	1,51	1,58	1,62	**0,37**
0,72	0,85	0,93	**0,81**	1,54	1,61	1,64	**0,36**
0,74	0,87	0,94	**0,80**	1,56	1,64	1,66	**0,35**
0,75	0,88	0,96	**0,79**	1,59	1,66	1,69	**0,34**
0,77	0,90	0,97	**0,78**	1,62	1,69	1,72	**0,33**
0,78	0,91	0,98	**0,77**	1,65	1,72	1,75	**0,32**
0,80	0,92	1,00	**0,76**	1,69	1,75	1,78	**0,31**
0,81	0,94	1,01	**0,75**	1,72	1,78	1,81	**0,30**
0,83	0,95	1,02	**0,74**	1,75	1,82	1,84	**0,29**
0,85	0,97	1,04	**0,73**	1,79	1,85	1,87	**0,28**
0,86	0,98	1,05	**0,72**	1,83	1,89	1,91	**0,27**
0,88	1,00	1,06	**0,71**	1,87	1,93	1,95	**0,26**
0,89	1,01	1,08	**0,70**	1,91	1,97	1,99	**0,25**
0,91	1,02	1,09	**0,69**	1,96	2,01	2,03	**0,24**
0,92	1,04	1,10	**0,68**	2,01	2,06	2,07	**0,23**
0,94	1,05	1,11	**0,67**	2,06	2,11	2,12	**0,22**
0,95	1,07	1,13	**0,66**	2,11	2,16	2,17	**0,21**
0,97	1,08	1,14	**0,65**	2,17	2,21	2,23	**0,20**
0,98	1,10	1,15	**0,64**	2,23	2,27	2,29	**0,19**
1,00	1,11	1,17	**0,63**	2,30	2,34	2,35	**0,18**
1,02	1,12	1,18	**0,62**	2,37	2,41	2,42	**0,17**
1,03	1,14	1,20	**0,61**	2,45	2,48	2,49	**0,16**
1,05	1,15	1,21	**0,60**	2,53	2,57	2,58	**0,15**
1,06	1,17	1,22	**0,59**	2,62	2,66	2,67	**0,14**
1,08	1,19	1,24	**0,58**	2,73	2,76	2,77	**0,13**
1,10	1,20	1,25	**0,57**	2,85	2,88	2,88	**0,12**
1,12	1,22	1,27	**0,56**	2,98	3,01	3,01	**0,11**
				3,13	3,16	3,16	**0,10**

Abbildung: Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Werner Verlag, Köln 2008; Tafel 8.44

Trägerbeiwert n DIN 18800-2 Tab. 9

Bei Randmomenten mit einem Verhältnis ψ>0,5 mit dem Faktor k_n zu multiplizieren DIN 18800-2 Bild 14.

	Profil	n
1	gewalzte Träger 	2,5
2	geschweißte Träger 	2,0
3	Wabenträger 	1,5
4	Ausgeklinkte Träger 	2,0
5	Voutenträger[a]  1 Schweißnaht $\frac{\min h}{\max h} \geq 0{,}25$	$0{,}7 + 1{,}8 \frac{\min h}{\max h}$

[a] Wenn die Flansche an den Steg geschweißt sind, ist der Trägerbeiwert n zusätzlich mit 0,8 zu multiplizieren.

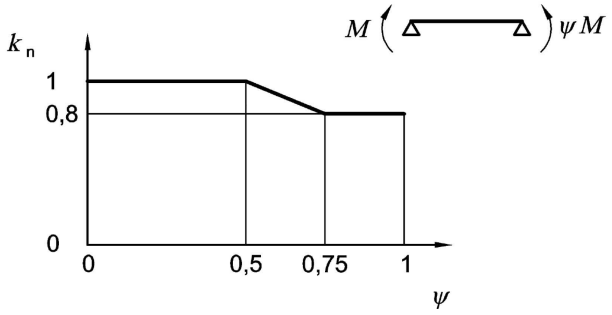


Abbildung: Faktor k_n für den Trägerbeiwert (DIN 18800-2 Bild 14)

Beulnachweis von Kranbahnträgern ohne Längssteifen DIN 18800-3:2008-11

Maximales Feldmoment $M_{y,d}$ und zugehörige Querkraft $V_{z,d}$, Radlast F_d, Beulfeldlänge a, Beulfeldbreite b, Beulfelddicke t, Trägheitsmoment 2. Grades I_y des Trägers

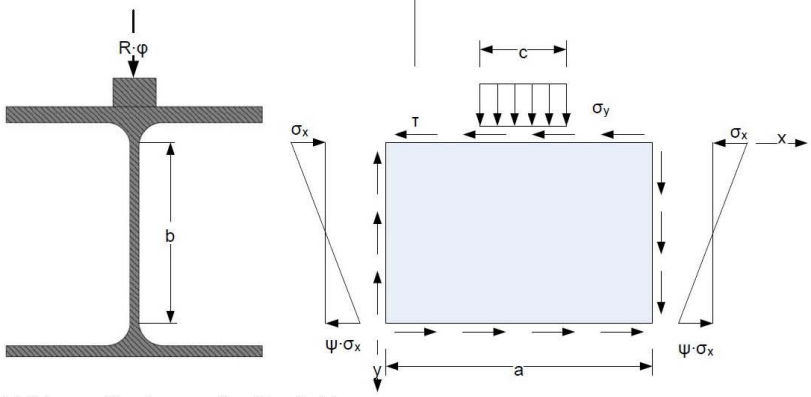


Abbildung: Systemmaße Beulfeld

Radlasteinleitungslänge

$$c = 2 * (t + h_{0,75*Schiene} + r) + 5cm$$

Berechnung der Spannungen

$$\sigma_{x,d} = \frac{M_{y,d}}{I_y} * \frac{b}{2} \quad \sigma_{y,d} = \frac{F_d}{c * t} \quad \tau_{xz,d} = \frac{Q_{z,d}}{A_{Steg}}$$

Berechnung der Hilfswerte

$$\alpha = \frac{a}{b} \quad \beta = \frac{c}{a} \quad \psi = \frac{\sigma_{xu}}{\sigma_{xo}}$$

Bezugsspannung σ_e

$$\sigma_e = 18980 * \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

Berechnung der Beulwerte $k_{\sigma x}$, $k_{\sigma y}$ und k_τ

Berechnung der idealen Einzelbeulspannungen

$$\sigma_{x,Pi} = k_{\sigma_x} * \sigma_e \quad \sigma_{y,Pi} = k_{\sigma_y} * \sigma_e * \frac{a}{c} \quad \tau_{pi} = k_\tau * \sigma_e$$

Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{P_{\sigma_x}}$ und des Abminderungsfaktors κ_x

Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{P_{\sigma_y}}$ und des Abminderungsfaktors κ_y $(c_y = 1{,}0)$

Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{P_\tau}$ und des Abminderungsfaktors κ_τ

Überprüfen auf knickstabähnliches Verhalten DIN 18800-3 El. 602

Wichtungsfaktor $\rho_x = \dfrac{\Lambda_{\sigma x} - \dfrac{\sigma_{x,Pi}}{\sigma_{xKi}}}{\Lambda_{\sigma x} - 1} > 0$ mit $2 \le \Lambda_{\sigma x} = \bar{\lambda}^2_{P\sigma x} + 0{,}5 \le 4$ und $\dfrac{\sigma_{x,Pi}}{\sigma_{xKi}} = k_{\sigma_x} * \alpha^2$

Wichtungsfaktor $\rho_y = \dfrac{\Lambda_{\sigma y} - \dfrac{\sigma_{y,Pi}}{\sigma_{yKi}}}{\Lambda_{\sigma y} - 1} > 0$ mit $2 \le \Lambda_{\sigma y} = \bar{\lambda}^2_{P\sigma y} + 0{,}5 \le 4$ und $\sigma_{yki} = 1{,}88 * \sigma_e$

Knickstabähnliches Verhalten $\rho_i \ge 0$?

nein

ja

Abminderungsfaktor κ_{xPK} bei käV

$\kappa_{xPK} = \left(1 - \rho_x^2\right) * \kappa_x + \rho_x^2 * \kappa_{xK}$

mit κ_{xK} Abminderungsfaktor nach Knickspannungslinie b aus DIN 18800 – 2 für einen gedachten Stab mit dem bezogenen Plattenschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{P_{\sigma_x}}$

Abminderungsfaktor κ_x

Abminderungsfaktor κ_{yPK} bei käV

$k = 0{,}5 * \left(1 + 0{,}34 * (\bar{\lambda}_{P\sigma y} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2_{P\sigma y}\right)$

$\kappa_{yK} = 1$ für $\bar{\lambda}_{P_{\sigma y}} \le 0{,}2$

$\kappa_{yK} = \dfrac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}^2_{P\sigma y}}}$ für $\bar{\lambda}_{P_{\sigma y}} > 0{,}2$

$k_{yPK} = \left(1 - \rho_y^2\right) * \kappa_y + \rho_y^2 * \kappa_{yK}$

Abminderungsfaktor κ_y

Grenzbeulspannungen

$\sigma_{xP,R,d} = \kappa_x * \dfrac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $\quad \sigma_{yP,R,d} = \kappa_{\Sigma y} * \dfrac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $\quad \tau_{P,R,d} = \kappa_\tau * \dfrac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}}$

Nachweis bei alleiniger Wirkung von σ_x, σ_y und τ

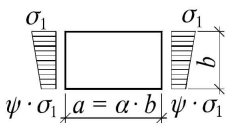
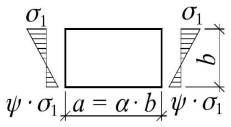
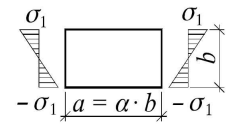
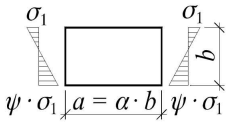
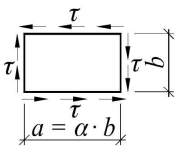
$\dfrac{\sigma_{x,d}}{\sigma_{xP,R,d}} \le 1$ $\quad \dfrac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} \le 1$ $\quad \dfrac{\tau_{xz,d}}{\tau_{P,R,d}} \le 1$

Nachweis bei Beanspruchung durch σ_x, σ_y und τ

$$\left(\frac{|\sigma_{x,d}|}{\sigma_{xP,R,d}}\right)^{e_1} + \left(\frac{|\sigma_{y,d}|}{\sigma_{yP,R,d}}\right)^{e_2} - V * \left(\frac{|\sigma_{x,d} * \sigma_{y,d}|}{\sigma_{xP,R,d} * \sigma_{yP,R,d}}\right) + \left(\frac{\tau_{xz,d}}{\tau_{P,R,d}}\right)^{e_3} \le 1$$

mit $e_1 = 1 + \kappa_x^4$ $\quad e_2 = 1 + \kappa_{\Sigma y}^4$ $\quad e_3 = 1 + \kappa_x * \kappa_{\Sigma y} * \kappa_\tau^2$ $\quad V = \left(\kappa_x * \kappa_{\Sigma y}\right)^6$

Beulwerte k DIN 4114-1

1	Beanspruchung		Ideale Beul-spannung	Gültig-keits-bereich	Beulwert
2	Geradlinig verteilte Druckspannungen $0 \le \psi \le 1$		$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge 1$	$k_\sigma = \dfrac{8{,}4}{\psi + 1{,}1}$
				$\alpha < 1$	$k_\sigma = \left[\alpha + \dfrac{1}{\alpha}\right]^2 \cdot \dfrac{2{,}1}{\psi + 1{,}1}$
3	Geradlinig verteilte Druck- und Zug-spannungen mit überwiegendem Druck $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$		$k_\sigma = (1 + \psi) \cdot k' - \psi \cdot k'' + 10\,\psi \cdot (1 + \psi)$ k': Beulwert für $\psi = 0$ nach Zeile 2 k'': Beulwert für $\psi = -1$ nach Zeile 4
4	Geradlinig verteilte Druck- und Zug-spannungen mit gegengleichen Randwerten $\psi = -1$ oder mit überwiegendem Zug [1] $\psi < -1$	 	$\sigma_{x,Pi} = k_\sigma \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge \dfrac{2}{3}$	$k_\sigma = 23{,}9$
				$\alpha < \dfrac{2}{3}$	$k_\sigma = 15{,}87 + \dfrac{1{,}87}{\alpha^2} + 8{,}6 \cdot \alpha^2$
5	Gleichmäßig verteilte Schub-spannungen		$\tau_{Pi} = k_\tau \cdot \sigma_e$	$\alpha \ge 1$	$k_\tau = 5{,}34 + \dfrac{4{,}00}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$	$k_\tau = 4{,}00 + \dfrac{5{,}34}{\alpha^2}$

[1] Bei der Berechnung des Seitenverhältnisses α und der Eulerspannung σ_e ist hier b durch den ideellen Wert $b_i = 2 \cdot b_D$ zu ersetzen, wobei $b_D < 0{,}5 \cdot b$ die Breite der Druckzone ist. Dies ist jedoch nicht zulässig für die Berechnung des Beulwertes k gleichzeitig wirkender Schubspannungen und der Bezugsspannung σ_e zur Ermittlung der Beulspannung τ_{Pi}.

Abbildung: Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Werner Verlag, Köln 2008;Tafel 8.61 Beulwerte k für unversteifte, an allen 4 Rändern einspannungsfrei gelagerte Beulfelder nach DIN 4114-1

Beulwerte $k_{\sigma y}$

$\beta =$	$\alpha = a/b$									
c/a	0,5	1	2	3	4	6	8	10	20	30
0,0	12,5	3,23	1,17	0,73	0,52	0,34	0,25	0,20	0,10	–
0,1	13	3,27	1,21	0,79	0,59	0,47	0,40	0,35	0,24	0,19
0,2	13,5	3,35	1,27	0,86	0,68	0,60	0,54	0,51	0,42	0,37
0,4	15	3,67	1,45	1,06	0,91	0,84	0,80	0,77	0,70	0,67
0,6	17	4,22	1,72	1,33	1,19	1,12	1,09	1,06	1,00	0,98
1,0	21	6,08	2,55	2,03	1,93	1,81	1,77	1,72	1,68	1,65

Abbildung: Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk Verlag, Berlin 2009; Tab. 7-1

Bezogene Schlankheitsgrade und Abminderungsfaktoren DIN 18800-3 Tab. 1

	1	2	3	4	5
	Beulfeld	**Lagerung**	**Beanspruchung**	**Bezogener Schlankheitsgrad**	**Abminderungsfaktor**
1	Einzel-feld	allseitig gelagert	Normalspannungen σ mit dem Randspannungs-verhältnis $\psi_T \leq 1$ [a]	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$	$\kappa = c\left(\frac{1}{\bar{\lambda}_P} - \frac{0{,}22}{\bar{\lambda}_P^2}\right) \leq 1$ mit $c = 1{,}25 - 0{,}12\ \psi_T \leq 1{,}25$
2		allseitig gelagert	Schubspannungen τ	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot \sqrt{3}}}$	$\kappa_\tau = \frac{0{,}84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
3	Teil- und Gesamt-feld	allseitig gelagert	Normalspannungen σ mit dem Randspannungs-verhältnis $\psi \leq 1$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$	$\kappa = c\left(\frac{1}{\bar{\lambda}_P} - \frac{0{,}22}{\bar{\lambda}_P^2}\right) \leq 1$ mit $c = 1{,}25 - 0{,}25\ \psi \leq 1{,}25$
4		dreiseitig gelagert	Normalspannungen σ	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$ [b]	$\kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_P^2 + 0{,}51} \leq 1$
5		dreiseitig gelagert	konstante Rand-verschiebung u	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$ [b]	$\kappa = \frac{0{,}7}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
6		allseitig gelagert, ohne Längssteifen	Schubspannungen τ	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot \sqrt{3}}}$	$\kappa_\tau = \frac{0{,}84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
7		allseitig gelagert, mit Längssteifen	Schubspannungen τ	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot \sqrt{3}}}$	$\kappa_\tau = \frac{0{,}84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$ für $\bar{\lambda}_P \leq 1{,}38$ $\kappa_\tau = \frac{1{,}16}{\bar{\lambda}_P^2} \leq 1$ für $\bar{\lambda}_P > 1{,}38$

[a] Bei Einzelfeldern ist ψ_T das Randspannungsverhältnis des Teilfeldes, in dem das Einzelfeld liegt.

[b] Zur Ermittlung von σ_{Pi} ist der Beulwert min $k_\sigma(\alpha)$ für $\psi = 1$ einzusetzen.

Abminderungsfaktor κ für Biegeknicken

Parameter α zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ DIN 18800-2:2008-11 Tab. 4

Knickspannungslinie	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Berechnung des Abminderungsfaktors κ

$$\bar{\lambda}_k \leq 0{,}2: \quad \kappa = 1$$

$$\bar{\lambda}_k > 0{,}2: \quad \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{5}\,\lambda_k^2}} \quad \text{mit} \quad k = 0{,}5 * \left[1 + \alpha * \left(\bar{\lambda}_k - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_k^2\right]$$

$$\bar{\lambda}_k > 3{,}0: \quad \kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_k * \left(\bar{\lambda}_k + \alpha\right)}$$

Bestimmung des Abminderungsfaktors κ aus Tabellen

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k$ für Knickspannungslinie:				κ	Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_k$ für Knickspannungslinie:				κ
a	b	c	d		a	b	c	d	
0,20	0,20	0,20	0,20	**1,00**	1,17	1,08	0,98	0,85	**0,55**
0,25	0,23	0,22	0,21	**0,99**	1,18	1,09	1,00	0,87	**0,54**
0,29	0,26	0,24	0,23	**0,98**	1,20	1,11	1,02	0,88	**0,53**
0,33	0,28	0,26	0,24	**0,97**	1,22	1,13	1,03	0,90	**0,52**
0,37	0,31	0,28	0,25	**0,96**	1,23	1,14	1,05	0,92	**0,51**
0,41	0,34	0,30	0,26	**0,95**	1,25	1,16	1,07	0,94	**0,50**
0,45	0,36	0,32	0,28	**0,94**	1,27	1,18	1,09	0,96	**0,49**
0,48	0,39	0,34	0,29	**0,93**	1,28	1,20	1,11	0,98	**0,48**
0,51	0,42	0,36	0,30	**0,92**	1,30	1,22	1,13	0,99	**0,47**
0,54	0,44	0,38	0,32	**0,91**	1,32	1,23	1,15	1,01	**0,46**
0,57	0,46	0,39	0,33	**0,90**	1,34	1,25	1,17	1,03	**0,45**
0,60	0,49	0,41	0,35	**0,89**	1,36	1,27	1,19	1,05	**0,44**
0,63	0,51	0,43	0,36	**0,88**	1,38	1,29	1,21	1,08	**0,43**
0,65	0,53	0,45	0,37	**0,87**	1,40	1,31	1,23	1,10	**0,42**
0,67	0,55	0,47	0,39	**0,86**	1,42	1,34	1,25	1,12	**0,41**
0,70	0,57	0,49	0,40	**0,85**	1,44	1,36	1,27	1,14	**0,40**
0,72	0,59	0,51	0,41	**0,84**	1,46	1,38	1,30	1,17	**0,39**
0,74	0,61	0,52	0,43	**0,83**	1,48	1,40	1,32	1,19	**0,38**
0,76	0,63	0,54	0,44	**0,82**	1,51	1,43	1,35	1,22	**0,37**
0,77	0,65	0,56	0,46	**0,81**	1,53	1,45	1,37	1,24	**0,36**
0,79	0,67	0,58	0,47	**0,80**	1,56	1,48	1,40	1,27	**0,35**
0,81	0,69	0,59	0,48	**0,79**	1,58	1,51	1,43	1,30	**0,34**
0,83	0,71	0,61	0,50	**0,78**	1,61	1,53	1,45	1,32	**0,33**
0,84	0,72	0,63	0,51	**0,77**	1,64	1,56	1,48	1,35	**0,32**
0,86	0,74	0,64	0,53	**0,76**	1,67	1,59	1,51	1,39	**0,31**
0,88	0,76	0,66	0,54	**0,75**	1,70	1,63	1,55	1,42	**0,30**
0,89	0,77	0,68	0,56	**0,74**	1,73	1,66	1,58	1,45	**0,29**
0,91	0,79	0,69	0,57	**0,73**	1,76	1,69	1,61	1,49	**0,28**
0,92	0,81	0,71	0,59	**0,72**	1,80	1,73	1,65	1,53	**0,27**
0,94	0,82	0,72	0,60	**0,71**	1,84	1,77	1,69	1,56	**0,26**
0,95	0,84	0,74	0,61	**0,70**	1,88	1,81	1,73	1,60	**0,25**
0,96	0,86	0,76	0,63	**0,69**	1,92	1,85	1,78	1,65	**0,24**
0,98	0,87	0,77	0,64	**0,68**	1,97	1,90	1,82	1,69	**0,23**
0,99	0,89	0,79	0,66	**0,67**	2,01	1,95	1,87	1,74	**0,22**
1,01	0,90	0,80	0,67	**0,66**	2,07	2,00	1,92	1,80	**0,21**
1,02	0,92	0,82	0,69	**0,65**	2,12	2,05	1,98	1,85	**0,20**
1,04	0,93	0,84	0,70	**0,64**	2,18	2,11	2,04	1,91	**0,19**
1,05	0,95	0,85	0,72	**0,63**	2,24	2,18	2,10	1,98	**0,18**
1,07	0,96	0,87	0,74	**0,62**	2,31	2,25	2,17	2,05	**0,17**
1,08	0,98	0,88	0,75	**0,61**	2,39	2,32	2,25	2,12	**0,16**
1,09	1,00	0,90	0,77	**0,60**	2,47	2,40	2,33	2,21	**0,15**
1,11	1,01	0,92	0,78	**0,59**	2,56	2,50	2,42	2,30	**0,14**
1,12	1,03	0,93	0,80	**0,58**	2,66	2,60	2,53	2,40	**0,13**
1,14	1,04	0,95	0,82	**0,57**	2,78	2,71	2,64	2,52	**0,12**
1,15	1,06	0,97	0,83	**0,56**	2,91	2,84	2,77	2,65	**0,11**
					3,06	2,99	2,92	2,79	**0,10**

Abbildung: Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Werner Verlag, Köln 2008;Tafel 8.38

Betriebsfestigkeitsnachweis DIN4132

Schnittgrößen $M_{y,d}$ und $V_{z,d}$, Radlast F_d, Querschnittswerte des Kranbahnträgers und der Schiene (h, s, t, r, A_{Steg}, I_y, $h_{Schiene}$, $b_{Schiene}$), Kehlnahtdicke a_w (Schiene/OG), Werkstoff, Beanspruchungsgruppe

Flächenmoment 1. Grades der Schiene $S_{y,Schiene}$

$$S_{y,Schiene} \approx A_{Schiene} * \left(\frac{h}{2} + \frac{h_{Schiene*0,75}}{2} \right)$$

Radlasteinleitungslänge

$$c = 2*(t + h_{0,75*Schiene} + r) + 5cm$$

Festlegung der zu untersuchenden Nachweisstellen

Nr.	NW-Stelle in Trägerlängsrichung	NW-Stelle im Querschnitt	Kerbfall	Nachzuweisende Spannung
1	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	K 453	$\bar{\sigma}_{\perp}$
2	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\perp}$
3	Überall	Stegansatz	W 13	$\bar{\sigma}_z$
4	Feld, maxM_y	Obergurt-Oberseite	K 123	σ_x
5	Auflager	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\parallel} + \tau_{\parallel}$
6	Auflager	Stegansatz	-	$\bar{\tau}_{xz} + \tau_{xz}$
...	...	...	...	...
Zusätzlich bei Mehrfeldträgern				
7	Mittelauflager	Obergurt-Unterseite	K333	σ_x
...	...	...	...	...

Nachweis der festgelegten Stellen

Berechnung der Unter– und Oberspannung σ_u und σ_o bzw. τ_u und τ_o

Berechnung des Spannungsverhältnisses

$$\kappa_\sigma = \frac{\sigma_u}{\max \sigma_o} \text{ bzw. } \kappa_\tau = \frac{\tau_u}{\max \tau_o} \text{ mit } |\sigma_u| < |\sigma_o| \text{ bzw. } |\tau_u| < |\tau_o|$$

Festlegung der zulässigen Spannung grenz σ_{Be} bzw. grenz τ_{Be}

Einzelnachweis $\frac{\max \sigma_o}{\text{grenz}\, \sigma_{Be}}$ bzw. $\frac{\max \tau_o}{\text{grenz}\, \tau_{Be}}$

kombinierter Nachweis $\sum \left(\frac{\max_\tau^\sigma}{\text{grenz}_{\tau_{Be}}^{\sigma_{Be}}} \right)_i^k + \left(\frac{\max_\tau^\sigma}{\text{grenz}_{\tau_{Be}}^{\sigma_{Be}}} \right)^k \leq 1$

Einzelkrane i alle Krane gemeinsam

Zulässige Spannugen grenz $\sigma_{Be} \equiv$ zul σ_{Be} und grenz $\tau_{Be} \equiv$ zul τ_{Be}
DIN 4132:1981-02 Tab. 3

	Beanspruchungsgruppe „m“		St 37			St 52			St 37 und St 52 [6]				
			W 0	W 1	W 2	W 0	W 1	W 2	K 0	K 1	K 2	K 3	K 4
1	Normalspannung zul $\sigma_{Be,\varkappa=-1}$	B 1	285,4	228,3	199,8	388,4	308,9	247,2	[475,2]	[424,2]	(356,4)	254,6	152,7
		B 2	240,0	192,0	168,0	313,0	249,0	199,2	[336,0]	(300,0)	(252,0)	180,0	108,0
		B 3	201,8	161,4	141,3	252,2	200,6	160,5	(237,6)	(212,1)	178,2	127,3	76,4
		B 4	169,7	135,8	118,8	203,2	161,7	129,3	168,0	150,0	126,0	90,0	54,0
		B 5	142,7	114,2	99,9	163,8	130,3	104,2	118,8	106,1	89,1	63,6	38,2
		B 6	120,0	96,0	84,0	132,0	105,0	84,0	84,0	75,0	63,0	45,0	27,0
2	$\frac{\text{zul } \sigma_{Be,m}}{\text{zul } \sigma_{Be,m+1}}$		1,189			1,241			1,414				
3	zul $\sigma_{Be,\varkappa<0}$ (Wechselbereich)		zul $\sigma_{Be,z,\varkappa<0} = \frac{5}{3-2\varkappa} \cdot$ zul $\sigma_{Be,-1}$						zul $\sigma_{Be,d,\varkappa<0} = \frac{2}{1-\varkappa} \cdot$ zul $\sigma_{Be,-1}$				
4	zul $\sigma_{Be,\varkappa=0}$		zul $\sigma_{Be,z,0} = \frac{5}{3} \cdot$ zul $\sigma_{Be,-1}$						zul $\sigma_{Be,d,0} = 2 \cdot$ zul $\sigma_{Be,-1}$				
5	zul $\sigma_{Be,\varkappa>0}$ (Schwellbereich)		zul $\sigma_{Be,z,\varkappa>0} = \frac{\text{zul } \sigma_{Be,z,0}}{1-\left(1-\frac{\text{zul } \sigma_{Be,z,0}}{\text{zul } \sigma_{Be,z,+1}}\right)\cdot\varkappa}$						zul $\sigma_{Be,d,\varkappa>0} = \frac{\text{zul } \sigma_{Be,d,0}}{1-\left(1-\frac{\text{zul } \sigma_{Be,d,0}}{\text{zul } \sigma_{Be,d,+1}}\right)\cdot\varkappa} = 1{,}2 \text{ zul } \sigma_{Be,z,\varkappa>0}$				
6	zul $\sigma_{Be,\varkappa=+1}$ und σ_B		zul $\sigma_{Be,z,+1} = \frac{\sigma_B}{\nu_{Be}} = \frac{\sigma_B}{4/3} = 0{,}75 \cdot \sigma_B$						zul $\sigma_{Be,d,+1} = 1{,}2 \cdot \frac{\sigma_B}{\nu_{Be}} = 1{,}2 \cdot \frac{\sigma_B}{4/3} = 0{,}9 \cdot \sigma_B$				
				St 37		St 52							
			σ_B	370,0		520,0							
			zul $\sigma_{Be,z,+1}$	277,5		390,0							
			zul $\sigma_{Be,d,+1}$	333,0		468,0							
7	Schubspannung zul $\tau_{Be,\varkappa}$	Bauteil	zul $\tau_{Be,\varkappa} =$ zul $\sigma_{Be,z,\varkappa} / \sqrt{3}$ mit zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$ nach Kerbfall W 0										
		Schweißnaht	zul $\tau_{Be,\varkappa} =$ zul $\sigma_{Be,z,\varkappa} / \sqrt{2}$ mit zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$ nach Kerbfall K 0; nach W 0, wenn dafür zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$ niedriger										
8	Scherspannung zul $\tau_{a,Be,\varkappa}$		zul $\tau_{a,Be,\varkappa} = 0{,}8 \cdot$ zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$			mit zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$ nach Kerbfall W 2			Für einschnittige, ungestützte Verbindungen sind vorstehende Werte auf 75 % abzumindern.				
9	Leibungsspannung zul $\sigma_{l,Be,\varkappa}$		zul $\sigma_{l,Be,\varkappa} = 2{,}0 \cdot$ zul $\sigma_{Be,z,\varkappa}$										

[6] (): zul σ_{Be} des Kerbfalles W 0 ist überschritten bei St 37
[]: zul σ_{Be} des Kerbfalles W 0 ist überschritten bei St 37 und St 52

Alternativ:
Bestimmung der Zulässigen Spannugen grenz $\sigma_{Be} \equiv$ zul σ_{Be} und grenz $\tau_{Be} \equiv$ zul τ_{Be}
DIN 4132:1981-02 Tab. 7-18

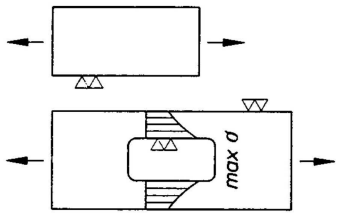
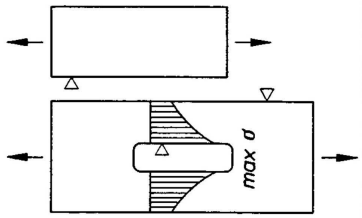
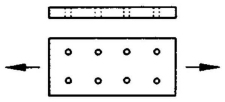
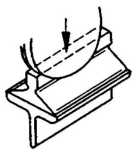
Kappung der zulässigen Spannungen grenz σ_{Be} und grenz τ_{Be}
DIN 4132:1981-02 Kap. 4.4.5

Kappung	**Regelfall** Grenzspannungen [kN/cm²]		**Ausnahmefall**[1)] Grenzspannungen [kN/cm²]	
Stahl	S 235	S 355	S 235	S 355
grenz σ_{Be}	16	24	24	36
grenz τ_{Be} - Bauteil	9	13,5	13,9	20,8
grenz τ_{Be} - Schweißnaht	13,5	17	17	25,5

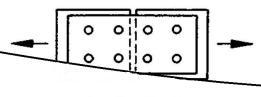
1)Grenzspannungen des Ausnahmefalls anwendbar bei:
- wenn Zwängungsspannungen berücksichtigt werden, z.B. bei der Radlasteinleitung in die Kranbahnträger oder bei Fachwerk-Kranbahnträgern
- bei Anwendung der Kombinationsformel nach DIN 4132 Gl. 4
- wenn der Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren elastisch – plastisch geführt wird

Bestimmung der Kerbfälle aus Tabellen DIN 4132:1981-02 Tab. 5-6

Kerbfall W 0 und Kerbfall W 1

Ordnungs-Nummer	Beschreibung und Darstellung		Sinn-bild
W 01	Teile mit normaler Oberflächenbeschaffenheit und mit Seitenflächen als Walzkanten oder durch Sägeschnitte, wenn überlagerte geometrische Kerbwirkungen nicht vorhanden oder bei der Spannungsermittlung berücksichtigt sind, z. B. bei Ausschnitten. Brenngeschnittene Flächen müssen mindestens die Güte 12 nach DIN 2310 Teil 3, Ausgabe Februar 1975, Abschnitt 2, haben.		
W 11	Teile mit Scherenschnitt- oder mit Brennschnittflächen mit mindestens Güte 23 nach DIN 2310 Teil 3, Ausgabe Februar 1975, Abschnitt 2, wenn überlagerte geometrische Kerbwirkungen nicht vorhanden oder bei der Spannungsermittlung berücksichtigt sind, z. B. bei Ausschnitten.		
W 12	Gelochte Teile auch mit Nieten und Schrauben bei Beanspruchung der Niete und Schrauben bis höchstens 20%, der hochfesten Schrauben in GV-Verbindungen bis 100% der zulässigen Werte Für einschnittige Verbindungen gelten die Einschränkungen der Kerbfälle W 22 und W 23 auch hier.		
W 13	Stegansatz von Walzprofilen bei Angriff von Radlasten		

Kerbfall W 2 — Nietung, Paßschrauben nach DIN 7968, SLP- und GVP-Verbindungen

W 21	Gelocht[illegible]nittigem Niet- oder		

Gebrauchstauglichkeit DIN EN 1993-6:2010-12

Einwirkungen: Eigengewicht g_k, Radlasten $F_{i,k}$ (ohne Schwingbeiwert), Schräglaufkraft $H^*_{S,k}$; Querschnittswerte, Material, satisches System, Systemabmessungen

↓

Einwirkungskombination

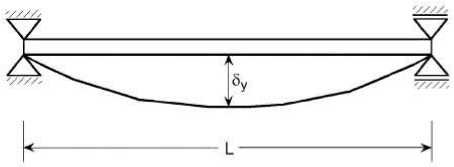
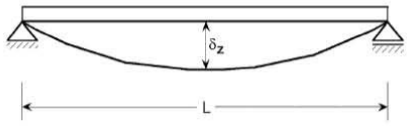
$$\gamma_F * g_k + \gamma_F * F_{1,k} + \gamma_F * F_{2,k} + \gamma_F * H^*_{s,k} = 1{,}0 * g_k + 1{,}0 * F_{1,k} + 1{,}0 * F_{2,k} + 1{,}0 * H^*_{s,k}$$

↓

Ermittlung der vorhandenen Durchbiegungen δ_y und δ_z mit geeigneten Formelapparaten oder Programmen

↓

Ermittlung der zulässigen Durchbiegungen zul δ_y und zul δ_z DIN EN 1993-6 Tab. 7.1 und 7.2

Beschreibung der Verformung (Durchbiegung oder Verschiebung)	Skizze
a) Horizontale Durchbiegung δ_y eines Kranbahnträgers in Höhe der Oberkante Kranschiene: $\delta_y \leq L / 600$	
a) Vertikale Durchbiegung δ_z eines Kranbahnträgers: $\delta_z \leq L/600$ und $\delta_z \leq 25$ mm Die vertikale Durchbiegung δ_z sollte als Gesamtdurchbiegung infolge vertikaler Lasten abzüglich möglicher Überhöhungen, analog zu δ_{max} in EN 1990, Bild A1.1 bestimmt werden.	

Anmerkung: Der Grenzwert der vertikalen Verformung wird auf $\delta_z \leq L/500$ und $\delta_z \leq 25$mm erweitert (DIN EN 1993-6/NA:2010-12)

↓

Nachweisführung

$$\text{vorh}\,\delta_z \leq \text{zul}\,\delta_z \qquad \text{vorh}\,\delta_y \leq \text{zul}\,\delta_y$$

2.1.5 Berechnungsbeispiel

Technische Daten des Brückenlaufkrans:

Einträgerbrückenlaufkran: ELK 10t x 18000mm

Antriebsart: IFF (Einzelradantrieb; Radaufhängung Fest/Fest)

EFF (n. DIN 15018 T.1)

Eigengewicht der Kranbrücke: $m_{Q_{c,Brücke}} = m_{Q_{c,Gesamt}} - m_{Q_{c,Katze}} = 4990 - 658 = 4332\,kg$

Eigengewicht der Laufkatze: $m_{Q_{c,Katze}} = 658\,kg$

Hublast: $m_{Q_h} = 10000\,kg$

Abstand der Kranbahnträger (Spurmittenmaß): $l = 18{,}00\,m$

minimaler Abstand der Laufkatze von einem Kranbahnträger: $l_{min} = 0{,}94\,m$

Radabstand: $a = 2{,}70\,m$

Schienenkopfbreite: $b = 50\,mm$

Anzahl der Kranbahnträger: $n_r = 2$

Anzahl der einzeln angetriebenen Räder: $m_w = 2$

Anzahl der Radpaare: $n = 2$

Erdbeschleunigung: $g = 9{,}81\,\frac{m}{s^2}$

2.1.5.1 Kräfte infolge Kranbetrieb

- **Antriebskraft K – DIN 1055-10 Abs. 5.7.3**

Reibungsbeiwert $\mu = 0{,}2 \quad (\text{Stahl auf Stahl})$

Summe der minimalen Last je Rad des unbelasteten Kranes

$$Q^*_{r,min} = \frac{1}{2*l} * \left(m_{Q_{c,Brücke}} * \frac{l}{2} + m_{Q_{c,Katze}} * l_{min} \right) * g = \frac{1}{2*18} * \left(4{,}332 * \frac{18}{2} + 0{,}658 * 0{,}94 \right) * 9{,}81 = 10{,}79\,kN$$

$$\sum Q^*_{r,min} = m_W * Q^*_{r,min} = 2 * 10{,}79 = 21{,}58\,kN$$

Antriebskraft

$$K = K_1 + K_2 = \mu * \sum Q^*_{r,min} = 0{,}2 * 21{,}58 = 4{,}32\,kN$$

- **Horizontale Lasten längs der Fahrbahn – DIN 1055-10 Abs. 5.7.2**

Dynamischer Vergrößerungsfaktor nach DIN 1055-10 Tab. 6

$$1{,}0 < \varphi_5 = 1{,}25 < 1{,}5 \quad (\text{Systeme mit stetiger Veränderung der Kräfte})$$

horizontale Lasten längs der Fahrbahn

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r} \qquad H_{L,1} = H_{L,2} = 1{,}25 * 4{,}32 * \frac{1}{2} = 2{,}7\,\text{kN}$$

- **Horizontale Lasten quer der Fahrbahn – DIN 1055-10 Abs. 5.7.2**

Summe der maximalen Radlasten $Q_{r,max}$ je Kranbahn des belasteten Kranes

$$\sum Q_{r,max} = \frac{1}{l} * \left(m_{Q_{c,Brücke}} * \frac{l}{2} + \left(m_{Q_{c,Katze}} + m_{Q_h} \right) * \left(l - l_{min} \right) \right) * g$$

$$\sum Q_{r,max} = \frac{1}{18{,}0} * \left(4{,}332 * \frac{18{,}0}{2} + \left(0{,}658 + 10{,}0 \right) * \left(18{,}0 - 0{,}94 \right) \right) = 120{,}34\,\text{kN}$$

Summe aus Eigengewicht und Hublast

$$\sum Q_r = \left(m_{Q_{c,Brücke}} + m_{Q_{c,Katze}} + m_{Q_h} \right) * g = \left(4{,}332 + 0{,}658 + 10{,}0 \right) * 9{,}81 = 147{,}05\,\text{kN}$$

Wichtungsfaktoren

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{120{,}34}{147{,}05} = 0{,}818 \qquad \xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0{,}818 = 0{,}182$$

Abstand des Masseschwerpunktes der Kranbrücke von der Wirkungsline der Antriebskraft (Brückenmitte)

$$l_s = \left(\xi_1 - 0{,}5 \right) * l = \left(0{,}818 - 0{,}5 \right) * 18{,}0 = 5{,}72\,\text{m}$$

Moment infolge Anfahren/Bremsen

$$M = K * l_s = 4{,}32 * 5{,}72 = 24{,}71\,\text{kNm}$$

horizontale Lasten quer der Fahrbahn

$$H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a} = 1{,}25 * 0{,}182 * \frac{24{,}71}{2{,}7} = 2{,}08\,\text{kN}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} = 1{,}25 * 0{,}818 * \frac{24{,}71}{2{,}7} = 9{,}36\,\text{kN}$$

- **Horizontale Seitenlasten und Führungskraft infolge Schräglauf von Kranen**

Schräglaufwinkel α nach DIN 1055-10 Tab. 7

$$\alpha_F = \frac{0{,}75\,x}{a} = \frac{10}{2700} = 0{,}0037 \quad (0{,}75\,x \geq 10\ \text{mm bei Spurkränzen})$$

$$\alpha_V = \frac{y}{a} = \frac{0{,}10 * b}{a} = \frac{0{,}10 * 50}{2700} = 0{,}0019 \quad (y \geq 0{,}10\,b \in \text{mm bei Spurkränzen})$$

$$\alpha_o = 0{,}001$$

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_o = 0{,}0037 + 0{,}0019 + 0{,}001 = 0{,}0066 \ \leq\ 0{,}015\,\text{rad}$$

Kraftschlussbeiwert

$$f = 0{,}3 * \left(1 - e^{-250*\alpha}\right) = 0{,}3 * \left(1 - e^{-250*0{,}0066}\right) = 0{,}24 \ \leq\ 0{,}3$$

Summe der Abstände zwischen den Radpaarachsen j und dem relevanten Führungsmittel

$$\sum e_j = e_1 + e_2 = 0 + 2{,}7 = 2{,}7\ \text{m}$$

Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und dem relevanten Führungsmittel nach DIN 1055-10 Tab. 8

$$h = \frac{m * \xi_1 * \xi_2 * l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 * 0{,}818 * 0{,}182 * 6{,}0^2 + 2{,}7^2}{2{,}7} = 2{,}7\ \text{m}$$

Kraftbeiwerte

$$\lambda_{S,1} = 1 - \frac{\sum e_j}{n * h} = 1 - \frac{2{,}7}{2} * 2{,}7 = 0{,}5$$

$$\lambda_{S,1,j,L} = 0$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} * \left(1 - \frac{e_1}{n}\right) = \frac{0{,}182}{2} * \left(1 - \frac{0}{2{,}7}\right) = 0{,}091$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} * \left(1 - \frac{e_2}{n}\right) = \frac{0{,}182}{2} * \left(1 - \frac{2{,}7}{2{,}7}\right) = 0$$

$$\lambda_{S,2,j,L} = 0$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} * \left(1 - \frac{e_1}{n}\right) = \frac{0{,}818}{2} * \left(1 - \frac{0}{2{,}7}\right) = 0{,}409$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} * \left(1 - \frac{e_1}{n}\right) = \frac{0{,}818}{2} * \left(1 - \frac{2{,}7}{2{,}7}\right) = 0$$

Führungskraft

$$S = f * \lambda_S * \sum Q_r = 0{,}24 * 0{,}5 * 147{,}05 = 17{,}65\,kN$$

horizontale Seitenlasten

$$H_{S,1,j,L} = f * \lambda_{S,1,j,L} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0 * 147{,}05 = 0$$

$$H_{S,2,j,L} = f * \lambda_{S,2,j,L} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0 * 147{,}05 = 0$$

$$H_{S,1,1,T} = f * \lambda_{s,1,1,T} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0{,}091 * 147{,}05 = 3{,}21\,kN$$

$$H_{S,1,2,T} = f * \lambda_{S,1,2,T} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0 * 147{,}05 = 0$$

$$H_{S,2,1,T} = f * \lambda_{s,2,1,T} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0{,}409 * 147{,}05 = 14{,}43\,kN$$

$$H_{S,2,2,T} = f * \lambda_{S,2,2,T} * \sum Q_r = 0{,}24 * 0 * 147{,}05 = 0$$

- **Radlasten**

$$R_{min} = \frac{\sum Q_r - \sum Q_{r,max}}{2} = \frac{147{,}05 - 120{,}34}{2} = 13{,}36\,kN$$

$$R_{max} = \frac{\sum Q_{r,max}}{2} = \frac{120{,}34}{2} = 60{,}17\,kN$$

- **Vergleich der Ergebnisse mit dem Kran-Datenblatt der Anlage 1**

	Werte aus Berechnung	Werte aus dem Datenblatt
Radlast R_{min}	13,36 kN	(13,3+13,5)/2 = 13,4 kN
Radlast R_{max}	60,17 kN	(60,0+60,4)/2 = 60,2 kN
Massekraft $H_{T,1}$	2,08 kN	2,1 kN
Massekraft $H_{T,2}$	9,36 kN	9,3 kN
Schräglaufkraft S	17,65 kN	17,7 kN
Horizontallast aus Schräglauf $H_{S,1,1,T}$	3,21 kN	3,2 kN
Horizontallast aus Schräglauf $H_{S,2,1,T}$	14,43 kN	14,5 kN
Massekraft $H_{L,1} = H_{L,2}$	2,70 kN	2,7 kN

Tabelle 15: Vergleich der ermittelten Kräfte infolge Kranbetrieb mit denen des Kran-Datenblattes

Quelle: Eigene Darstellung

Die berechneten Werte stimmen mit den Werten aus dem Kran-Datenblatt überein.

2.1.5.2 Schnittgrößenberechnung

Technische Daten der Krananlage:

Statisches System:	Einfeldträger	
Feldlänge:	l = 6,00 m	
Hubklasse:	H2	
Beanspruchungsgruppe:	B3	
Radlasten:	$R_{1,k}$ = 60,40 kN	$R_{2,k}$ = 60,00 kN
Radabstand:	a = 2,7 m	
Schräglaufkraft:	$H_{S,k}$ = 14,50 kN	
Kranbahnträger:	HEB 300	g = 1,17 kN/m
Schiene (bxh):	50x40 mm	g = 0,16 kN/m (mit ρ =78,50 kN/m³)
Werkstoff:	S235	$f_{y,k}$ = 24 kN/cm²

Einwirkungen:

Eigengewicht: g = 1,17 + 0,16 = 1,33 kN/m

Radlast: Schwingbeiwert φ = 1,2 (Hubklasse H2 n. DIN 4132 Tab.1)

$$F_{1,k}=R_{1,k}*\varphi=60{,}40*1{,}2=72{,}48\,\text{kN} \quad F_{2,k}=R_{2,k}*\varphi=60{,}00*1{,}2=72{,}00\,\text{kN}$$

Schräglaufkraft: Die Überlagerung der Seitenlasten H_S und S als „Kräfte aus Schräglauf“ mit den waagrechten Seitenlasten H_M infolge der „Massenkräfte aus Antrieben“ ist durch einen Zuschlag von 10 % auf die Seitenlasten H_S und S (Schräglaufkräfte) zu berücksichtigen[7].

$$H^*_{s,k}=H_{S,k}*1{,}1=14{,}50*1{,}1=15{,}95\,\text{kN}$$

Schnittgrößenberechnung:

- Radlaststellung 1 für maximales Feldmoment $M_{y,k}$

Culmannsche Laststellung

Bedingung 1: $F_{1,k}$ =72,48 kN > $F_{2,k}$ = 72,00 kN

Hilfswert: $$c=\frac{a*F_{2,k}}{\sum F_{i,k}}=\frac{2{,}7*72}{72{,}48+72{,}00}=1{,}35\,\text{m}$$

Bedingung 2: $$c=1{,}35\,\text{m}<0{,}5*l=0{,}5*6{,}00=3{,}00\,\text{m}$$

→ beide Räder stehen auf dem Einfeldträger

Abstand der Radlast $F_{1,k}$ vom Auflager A:

$$x=\frac{l-c}{2}=\frac{6{,}00-1{,}35}{2}=2{,}33\,\text{m}$$

7 Vgl. DIN 4132 Abs. 3.2.1.1.

Auflagerkraft $A_{1,z,k}$ infolge der Radlasten:

$$A_{1,z,k}=\frac{1}{l}*\left(\sum F_{i,k}*\left(\frac{l}{2}-\frac{c}{2}\right)\right)=\frac{1}{6{,}00}*\left((72{,}48+72{,}00)*\left(\frac{6{,}00}{2}-\frac{1{,}35}{2}\right)\right)=56{,}00\,\mathrm{kN}$$

Maximales Feldmoment $M_{1,y,k}$:

$$M_{1,y,k}=A_{1,z,k}*x=56{,}00*2{,}33=130{,}48\,\mathrm{kNm}$$

Querkraft an der Stelle x = 2,33 m $V_{1,z,k}$:

$$V_{1,z,k}=A_{1,z,k}=56{,}00\,\mathrm{kN}$$

Auflagerkraft $A_{z,g,k}$ infolge Eigengewicht:

$$A_{z,g,k}=\frac{g*l}{2}=\frac{1{,}33*6{,}00}{2}=3{,}99\,\mathrm{kN}$$

Feldmoment an der Stelle x = 2,33 m $M_{1,y,g,k}$:

$$M_{1,y,g,k}=A_{z,g,k}*x-\frac{g+x^2}{2}=3{,}99*2{,}33-\frac{1{,}33*2{,}33^2}{2}=5{,}69\,\mathrm{kNm}$$

Querkraft an der Stelle x = 2,33 m $V_{1,z,g,k}$:

$$V_{1,z,g,k}=A_{z,g,k}-g*x=3{,}99-1{,}33*2{,}33=0{,}89\,\mathrm{kN}$$

Auflagerkraft $A_{1,y,k}$ infolge Schräglaufkraft:

$$A_{1,y,k}=\frac{1}{l}*\left(H^*_{S,k}*\left(\frac{l}{2}+\frac{c}{2}\right)\right)=\frac{1}{6{,}00}*\left(15{,}95*\left(\frac{6{,}00}{2}+\frac{1{,}35}{2}\right)\right)=9{,}77\,\mathrm{kN}$$

Feldmoment an der Stelle x = 2,33 m $M_{1,z,k}$:

$$M_{1,z,k}=A_{1,y,k}*x=9{,}77*2{,}33=22{,}76\,\mathrm{kNm}$$

Querkraft an der Stelle x = 2,33 m $V_{1,y,k}$:

$$V_{1,y,k}=A_{1,y,k}=9{,}77\,\mathrm{kN}$$

– Radlaststellung 2 für maximales Feldmoment max $M_{z,k}$

Radlast $F_{1,k}$ steht an der Stelle l/2

Auflagerkraft $A_{2,z,k}$ infolge der Radlasten:

$$A_{2,z,k}=\frac{1}{l}*\left(F_{1,k}*\frac{l}{2}+F_{2,k}*\left(\frac{l}{2}-a\right)\right)=\frac{1}{6{,}00}*\left(72{,}48*\frac{6{,}00}{2}+72{,}00*\left(\frac{6{,}00}{2}-2{,}7\right)\right)=39{,}84\,\mathrm{kN}$$

Feldmoment an der Stelle l/2 $M_{2,y,k}$:

$$M_{2,y,k}=A_{2,z,k}*\frac{l}{2}=39{,}84*\frac{6{,}00}{2}=119{,}52\,\mathrm{kNm}$$

Querkraft an der Stelle l/2 $V_{2,z,k}$:

$$V_{2,z,k}=A_{2,z,k}=39{,}84\,\mathrm{kN}$$

Maximales Feldmoment $M_{2,y,g,k}$:

$$M_{2,y,g,k}=\frac{g*l^2}{8}=\frac{1{,}33*6{,}00^2}{8}=5{,}99\,\text{kNm}$$

Querkraft an der Stelle l/2 $V_{2,z,g,k}$:

$$V_{2,z,g,k}=0\,\text{kN}$$

Auflagerkraft $A_{2,y,k}$ infolge Schräglaufkraft:

$$A_{2,y,k}=\frac{H^*_{S,k}}{2}=\frac{15{,}95}{2}=7{,}98\,\text{kN}$$

Maximales Feldmoment $M_{2,z,k}$:

$$M_{2,z,k}=\frac{H^*_{S,k}*l}{4}=\frac{15{,}95*6{,}00}{4}=23{,}93\,\text{kNm}$$

Querkraft an der Stelle l/2 $V_{2,y,k}$:

$$V_{2,y,k}=A_{2,y,k}=7{,}98\,\text{kN}$$

– Radlaststellung 3 für maximale Querkraft max $Q_{i,k}$

Radlast $F_{1,k}$ steht im Auflager A

Auflagerkraft $A_{3,z,k}$ infolge der Radlasten:

$$A_{3,z,k}=\frac{1}{l}*\left(F_{1,k}*l+F_{2,k}*(l-a)\right)=\frac{1}{6{,}00}*\left(72{,}48*6{,}00+72{,}00*(6{,}00-2{,}7)\right)=112{,}08\,\text{kN}$$

Moment am Auflager A $M_{3,y,k}$:

$$M_{3,y,k}=0\,\text{kNm}$$

Querkraft am Auflager A $V_{3,z,k}$:

$$V_{3,z,k}=A_{3,z,k}=112{,}08\,\text{kN}$$

Auflagerkraft $A_{z,g,k}$ infolge Eigengewicht:

$$A_{z,g,k}=\frac{g*l}{2}=\frac{1{,}33*6{,}00}{2}=3{,}99\,\text{kN}$$

Moment am Auflager A $M_{3,y,g,k}$:

$$M_{3,y,g,k}=0\,\text{kNm}$$

Querkraft am Auflager A $V_{3,z,g,k}$:

$$V_{3,z,g,k}=A_{z,g,k}=3{,}99\,\text{kN}$$

Auflagerkraft $A_{3,y,k}$ infolge Schräglaufkraft:

$$A_{3,y,k}=H^*_{S,k}=15{,}95\,kN$$

Moment am Auflager A $M_{3,z,k}$:

$$M_{3,z,k}=0\,kNm$$

Querkraft am Auflager A $V_{3,y,k}$:

$$V_{3,y,k}=A_{3,y,k}=15{,}95\,kN$$

		Radlaststellung 1	Radlaststellung 2	Radlaststellung 3
Einwirkung	Schnittgrößen	Stelle max $M_{y,k}$ bei x = 2,33 m	Stelle max $M_{z,k}$ bei l/2	Stelle max $V_{z,k}$ am Auflager A
Radlasten $F_{i,k}$	$M_{y,k}$ [kNm]	130,48	119,52	0
	$Q_{z,k}$ [kN]	56,00	39,84	112,08
Eigengewicht g	$M_{y,k}$ [kNm]	5,69	5,99	0
	$Q_{z,k}$ [kN]	0,89	0	3,99
Schräglaufkraft $H^*_{s,k}$	$M_{z,k}$ [kNm]	22,76	23,93	0
	$Q_{y,k}$ [kN]	9,77	7,98	15,95

Tabelle 16: Schnittgrößen infolge Radlaststellungen tabellarisiert

Quelle: Eigene Darstellung

2.1.5.3 Spannungsnachweis

Querschnittswerte:

Stegdicke s = 1,1 cm

Widerstandsmomente $W_y=1680\,cm^3 \quad W_{z,OG}\approx\frac{W_z}{2}=\frac{571}{2}=285{,}5\,cm^3$

Radlasteinleitungslänge $c=2*(t+h_{0,75*Schiene}+r)+5cm=2*(1{,}9+3+2{,}7)+5=20{,}2\,cm$

Nachweisführung:

- Spannung im Steg infolge Radlasteinleitung

Einwirkung $F_{1,k}$ = 72,48 kN

Spannungen

$$\bar{\sigma}_{z,k}=\frac{F_{1,k}}{c*s}=\frac{72{,}48}{20{,}2*1{,}1}=-3{,}26\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{z,d}=\gamma_F*\bar{\sigma}_{z,k}=1{,}5*3{,}26=-4{,}89\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{r,d}=\frac{f_{y,k}}{\gamma_M}=\frac{24}{1{,}1}=21{,}8\frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\bar{\sigma}_{z,d}}{\sigma_{r,d}}=\frac{4{,}89}{21{,}8}=0{,}22 \quad < \quad 1{,}0$$

– NW-Stelle Außenkante Obergurt-Oberseite

Radlaststellung 1 max$M_{y,k}$

Schnittgrößen $M_{1,y,k}=130{,}48\,\text{kNm}$ $M_{1,y,g,k}=5{,}69\,\text{kNm}$ $M_{1,z,k}=22{,}76\,\text{kNm}$

Spannungen

$$\sigma_{x,k}=\frac{M_{1,y,k}}{W_y}=\frac{130{,}48*100}{1680}=-7{,}77\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,g,k}=\frac{M_{1,y,g,k}}{W_y}=\frac{5{,}69*100}{1680}=-0{,}34\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,H_S,k}=\frac{M_{1,z,k}}{W_{z,OG}}=\frac{22{,}76*100}{285{,}5}=-7{,}97\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Lastfallkombinationen nach DIN 18800-1 El. (710)

$$\sigma_{1,d}=\gamma_F*\sigma_{x,g,k}+\gamma_F*\sigma_{x,k}=1{,}35*(-0{,}34)+1{,}5*(-7{,}77)=12{,}11\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2,d}=\gamma_F*\sigma_{x,g,k}+\gamma_F*\psi_i*(\sigma_{x,k}+\sigma_{x,H_S,k})=1{,}35*(-0{,}34)+1{,}5*0{,}9(-7{,}77-7{,}95)=21{,}71\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{2,d}}{\sigma_{r,d}}=\frac{21{,}71}{21{,}8}=0{,}996\ <\ 1{,}0$$

Radlaststellung 2 max $M_{z,k}$

Schnittgrößen $M_{2,y,k}=119{,}52\,\text{kNm}$ $M_{2,y,g,k}=5{,}99\,\text{kNm}$ $M_{2,z,k}=23{,}93\,\text{kNm}$

Spannungen

$$\sigma_{x,k}=\frac{M_{2,y,k}}{W_y}=\frac{119{,}52*100}{1680}=-7{,}11\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,g,k}=\frac{M_{2,y,g,k}}{W_y}=\frac{5{,}99*100}{1680}=-0{,}36\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Lastfallkombinationen nach DIN 18800-1 El. (710)

$$\sigma_{1,d}=\gamma_F*\sigma_{x,g,k}+\gamma_F*\sigma_{x,k}=1{,}35*(-0{,}36)+1{,}5*(-7{,}11)=11{,}15\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2,d}=\gamma_F*\sigma_{x,g,k}+\gamma_F*\psi_i*(\sigma_{x,k}+\sigma_{x,H_S,k})=1{,}35*(-0{,}36)+1{,}5*0{,}9(-7{,}11-8{,}38)=21{,}40\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{2,d}}{\sigma_{r,d}}=\frac{21{,}40}{21{,}8}=0{,}98\ <\ 1{,}0$$

– NW-Stelle oberer Stegansatz unterhalb der Ausrundung

Radlaststellung 1 max $M_{y,k}$

Schnittgrößen

$M_{1,y,k}=130{,}48\,kNm$ $M_{1,y,g,k}=5{,}69\,kNm$ $M_{1,z,k}=22{,}76\,kNm$ $V_{1,z,k}=56{,}00\,kN$

Spannungen

$$\sigma_{x,k}=\frac{M_{1,y,k}}{I_y}*z=\frac{130{,}48*100}{25170}*\left(\frac{30}{2}-1{,}9-2{,}7\right)=-5{,}39\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{x,g,k}=\frac{M_{1,y,g,k}}{I_y}*z=\frac{5{,}69*100}{25170}*\left(\frac{30}{2}-1{,}9-2{,}7\right)=-0{,}24\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{xz,k}=\frac{V_{z,k}}{A_{Steg}}=\frac{56{,}00}{30{,}9}=1{,}81\,\frac{kN}{cm^2}$$

Lastfallkombinationen nach DIN 18800-1 El. (710)

$$\sigma_d=\gamma_F*\sigma_{x,g,k}+\gamma_F*\sigma_{x,k}=1{,}35*(-0{,}24)+1{,}5*(-5{,}39)=-8{,}41\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\sigma}_{z,d}=-4{,}89\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{xz,d}=\gamma_F*\tau_{xz,k}=1{,}5*1{,}81=2{,}72\,\frac{kN}{cm^2}$$

Vergleichsspannung nach DIN 18800-1 El. (748)

$$\sigma_{v,d}=\sqrt{\sigma_d^2+\overline{\sigma}_{z,d}^2-\sigma_d*\overline{\sigma}_{z,d}+3*\tau_{xz,d}^2}$$

$$\sigma_{v,d}=\sqrt{(-8{,}41)^2+(-4{,}89)^2-(-8{,}41)*(-4{,}89)+3*2{,}72^2}=8{,}70\,\frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{r,d}}=\frac{8{,}41}{21{,}8}=0{,}39\ <\ 1{,}0$$

$$\frac{\tau_{xz,d}}{\tau_{r,d}}=\frac{2{,}72}{12{,}6}=0{,}22\ <\ 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{v,d}}{\sigma_{r,d}}=\frac{8{,}7}{21{,}8}=0{,}40\ <\ 1{,}0$$

Radlastlaststellung 3 max$V_{z,k}$

Schnittgrößen $V_{3,z,k}=112{,}08\,kN$ $V_{3,z,g,k}=3{,}99\,kN$

Spannungen

$$\tau_{3,xz,k}=\frac{V_{3,z,k}}{A_{Steg}}=\frac{112{,}08}{30{,}9}=3{,}63\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{3,xz,g,k}=\frac{V_{3,z,g,k}}{A_{Steg}}=\frac{3{,}99}{30{,}9}=0{,}13\,\frac{kN}{cm^2}$$

Lastfallkombinationen nach DIN 18800-1 El. (710)

$$\tau_{3,xz,d}=\gamma_F*\tau_{3,xz,g,k}+\gamma_F*\tau_{3,xz,k}=1{,}35*0{,}13+1{,}5*3{,}63=5{,}62\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{z,d}=-4{,}89\,\frac{kN}{cm^2}$$

Vergleichsspannung nach DIN 18800-1 El. (748)

$$\sigma_{v,d}=\sqrt{\bar{\sigma}_{z,d}^2+3*\tau_{3,xz,d}^2}=\sqrt{(-4{,}89)^2+3*5{,}62^2}=10{,}89\,\frac{kN}{cm2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{3,xz,d}}{\tau_{r,d}}=\frac{5{,}62}{12{,}6}=0{,}45\ <\ 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{v,d}}{\bar{\sigma}_{r,d}}=\frac{10{,}89}{21{,}8}=0{,}50\ <\ 1{,}0$$

– Nachweis der Schweißnaht Schiene/Obergurt

Radlaststellung 3 max $V_{z,k}$

Kehlnahtdicke: 5 mm

$$S_{y,Schiene}=A_{Schiene}*\left(\frac{h_{HEB300}}{2}+\frac{h_{Schiene*0,75}}{2}\right)=3{,}0*5{,}0*\left(\frac{30}{2}+\frac{3{,}0}{2}\right)=247{,}5\,cm^3$$

Schnittgrößen

$V_{3,z,k}=112{,}08\,kN$ $\quad V_{3,z,g,k}=3{,}99\,kN$ $\quad F_{1,k}=72{,}48\,kN$ $\quad H_{s,k}^*=15{,}95\,kN$

Nahtdickenbegrenzung für Kehlnähte nach DIN 18800-1 El. (519)

$$2\ mm\ \le\ a=5\ mm\ \le\ 0{,}7\min t=0{,}7*1{,}9=13{,}3\ mm$$

$$\text{Empfehlung}:\max t=40\ mm\ >\ 30\ mm\ \rightarrow\ a=5\ mm\ (\ge 5\ mm)$$

Spannungen

$$\bar{\sigma}_{\perp,k}=\frac{F_{1,k}}{(2*h_{Schiene*0,75}+5\,cm)2*a_w}=\frac{72{,}48}{(2*3+5)*2*0{,}5}=6{,}59\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\tau}_{\perp,k}=\frac{H_{s,k}^*}{(b_{Schiene}+5\,cm)2*a_w}=\frac{15{,}95}{(5+5)*2*0{,}5}=1{,}60\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\parallel,k}=\frac{V_{3,z,d}*S_{y,Schiene}}{I_y*2*a_w}=\frac{112{,}08*247{,}5}{25170*2*0{,}5}=1{,}10\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\parallel,g,k}=\frac{V_{3,z,g,d}*S_{y,Schiene}}{I_y*2*a_w}=\frac{3{,}99*247{,}5}{25170*2*0{,}5}=0{,}04\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{w,r,d}=\alpha_w*\frac{f_{y,k}}{\gamma_M}=0{,}95*\frac{24}{1{,}1}=20{,}7\frac{kN}{cm^2}\quad(DIN\,18800-1\quad El.\,829)$$

Lastfallkombinationen nach DIN 18800-1 El. (710)

$$\sigma_{1,\perp,d}=\gamma_F*\bar{\sigma}_{\perp,k}=1{,}5*6{,}59=9{,}89\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{1,\parallel,d}=\gamma_F*\tau_{\parallel,g,k}+\gamma_F*\tau_{\parallel,k}=1{,}35*0{,}04+1{,}5*1{,}10=1{,}70\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{1,v,d}=\sqrt{\sigma_{1,\perp,d}^2+\tau_{1,\parallel,d}^2}=\sqrt{9{,}89^2+1{,}70^2}=10{,}04\,\frac{kN}{cm2}$$

$$\sigma_{2,\perp,d}=\gamma_F*\psi_i*\bar{\sigma}_{\perp,k}=1{,}5*0{,}9*6{,}59=8{,}90\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{2,\perp,d}=\gamma_F*\psi_i*\bar{\tau}_{\perp,k}=1{,}5*0{,}9*1{,}60=2{,}16\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{2,\parallel,d}=\gamma_F*\tau_{\parallel,g,k}+\gamma_F*\psi_i*\tau_{\parallel,k}=1{,}35*0{,}04+1{,}5*0{,}9*1{,}10=1{,}54\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{2,v,d}=\sqrt{\sigma_{1,\perp,d}^2+\tau_{2,\perp,d}^2+\tau_{1,\parallel,d}^2}=\sqrt{8{,}90^2+2{,}16^2+1{,}54^2}=9{,}29\,\frac{kN}{cm2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{1,v,d}}{\sigma_{w,r,d}}=\frac{10{,}04}{20{,}7}=0{,}49\ <\ 1{,}0$$

2.1.5.4 Biegedrillknicknachweis

- **Knickender Obergurt**

Querschnittswerte:

- Querschnittswerte HEB300

h =30 cm, b = 30 cm, s = 1,1 cm, t = 1,9 cm, A = 149 cm², I_y = 25170 cm⁴

- Querschnittswerte Obergurt + 1/5 Steg

$$h'=h-2*t=30-2*1{,}9=26{,}2\,cm$$

$$h_{1/5Steg}=\frac{h'}{5}=\frac{26{,}2}{5}=5{,}24\,cm$$

$$z_{OG}=\frac{h-t}{2}=\frac{30-1{,}9}{2}=14{,}05\,cm$$

$$z_{1/5\,Steg}=\frac{h'-h_{1/5Steg}}{2}=\frac{26{,}2-5{,}24}{2}=10{,}48\,cm$$

Fläche: $A_{OG} = b*t + \frac{h'}{5}*s = 30*1{,}9 + \frac{26{,}2}{5}*1{,}1 = 62{,}76\,cm^2$

Flächenmomente 1. Grades:

$$S_{y,OG} = h*t*z_{OG} + h_{1/5Steg}*s*z_{1/5Steg} = 30*1{,}9*14{,}05 + 5{,}24*1{,}1*10{,}48 = 861\,cm^3$$

$$S_{z,OG} = \frac{b^2}{8}*t + \frac{s^2}{8}*h_{1/5Steg} = \frac{30^2}{8}*1{,}9 + \frac{1{,}1^2}{8}*5{,}24 = 214{,}5\,cm^3$$

Flächenmoment 2. Grades:

$$I_{z,OG} = \frac{h^3*t}{12} + \frac{s^3*h_{1/5Steg}}{12} = \frac{30^3*1{,}9}{12} + \frac{1{,}1^3*5{,}24}{12} = 4275{,}6\,cm^4$$

Widerstandsmoment:

$$W_{z,OG} = \frac{I_{z,OG}}{\frac{b}{2}} = \frac{4275{,}6}{\frac{30}{2}} = 285\,cm^3$$

Trägheitsradius

$$i_{z,OG} = \sqrt{\frac{I_{z,OG}}{A_{OG}}} = \sqrt{\frac{4275{,}6}{62{,}76}} = 8{,}25\,cm$$

Normalkraft im plastischen Zustand

$$N_{OG,pl,d} = A_{OG}*\frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 62{,}76*\frac{24}{1{,}1} = 1369{,}3\,kN$$

Biegemoment im plastischen Zustand

$$M_{z,OG,pl,d} = 2*S_{z,OG}*\frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 2*214{,}5*\frac{24}{1{,}1} = 93{,}60\,kNm$$

$$M_{z,OG,pl,d} = 93{,}60\,kNm \geq 1{,}25*\frac{f_{y,k}}{\gamma_M}*W_{z,OG} = 1{,}25*\frac{24}{1{,}1}*285 = 77{,}73\,kNm$$

$$M_{z,OG,pl,d} = 77{,}73\,kNm$$

Schnittgrößen:

- Radlaststellung 1 maxM_y

$M_{1,y,k}$ = 130,48 kNm $M_{1,y,g,k}$ = 5,69 kNm $M_{1,z,k}$ = 22,79 kNm

Biegemomente

$$M_{1,z,d} = \gamma_F*\psi*M_{1,z,k} = 1{,}5*0{,}9*22{,}79 = 30{,}77\,kNm$$

$$M_{1,y,d} = \gamma_F*M_{1,y,g,k} + \gamma_F*\psi*M_{1,y,k} = 1{,}35*5{,}69 + 1{,}5*0{,}9*130{,}48 = 183{,}83\,kNm$$

Normalkraft im Obergurt

$$N_{1,OG,d} = \frac{M_{1,y,d}*S_{y,OG}}{I_y} = \frac{183{,}83*100*861}{25170} = 628{,}8\,kN$$

– Radlaststellung 2 maxM_z

$M_{2,y,k}$ = 119,52 kNm $M_{2,y,g,k}$ = 5,99 kNm $M_{2,z,k}$ = 23,92 kNm

Biegemomente

$$M_{2,z,d} = \gamma_F * \psi * M_{2,z,k} = 1{,}5 * 0{,}9 * 23{,}92 = 32{,}29\,\text{kNm}$$

Normalkraft im Obergurt

$$N_{2,OG,d} = \frac{M_{2,y,d} * S_{y,OG}}{I_y} = \frac{169{,}44 * 100 * 861}{25170} = 579{,}6\,\text{kN}$$

Nachweis des Obergurtes gegen Biegeknicken nach DIN 18800-2 El. (314):

Knicklänge

$$s_k = \beta * l = 1{,}0 * 6 = 6{,}0\,\text{m}$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i_{z,OG}} = \frac{600}{8{,}25} = 72{,}73$$

Bezogener Schlankheitsgrad

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_a} = \frac{72{,}73}{92{,}9} = 0{,}78$$

Knickspannungslinie und Abminderungsfaktor κ

$$\text{HEB300} \quad \frac{h}{b} = \frac{300}{300} = 1{,}0 < 1{,}2 \quad t = 19\text{mm} < 80\text{mm}$$

$$\text{Ausweichen rechtwinklig zur } z-\text{Achse} \longrightarrow \text{KSL c} \longrightarrow \boldsymbol{\kappa = 0{,}675} \quad \text{für } \bar{\lambda}_k = 0{,}78$$

Wert Δn

$$\Delta n_1 = \frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} * \left(1 - \frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}}\right) * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 \leq 0{,}1$$

$$\Delta n_1 = \frac{628{,}8}{0{,}675 * 1369{,}3} * \left(1 - \frac{628{,}8}{0{,}675 * 1369{,}3}\right) * 0{,}675^2 * 0{,}78^2 = 0{,}06 < 0{,}1$$

$$\Delta n_2 = \frac{N_{2,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} * \left(1 - \frac{N_{2,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}}\right) * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 \leq 0{,}1$$

$$\Delta n_2 = \frac{579{,}6}{0{,}675 * 1369{,}3} * \left(1 - \frac{579{,}6}{0{,}675 * 1369{,}3}\right) * 0{,}675^2 * 0{,}78^2 = 0{,}06 < 0{,}1$$

Momentenbeiwert für Biegeknicken nach DIN 18800-2 Tab. 11

Momentenverlauf gemäß Spalte 1, Zeile 2

Momentenbeiwert für Biegeknicken gemäß Spalte 2, Zeile 2 $\boldsymbol{\beta_m = 1{,}0}$

Nachweise

$$\frac{N_{1,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} + \frac{\beta_m * M_{1,z,d}}{M_{z,OG,pl,d}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{628{,}8}{0{,}675 * 1369{,}3} + \frac{1{,}0 * 30{,}77}{77{,}73} + 0{,}06 = 1{,}14 \;>\; 1{,}0$$

$$\frac{N_{2,OG,d}}{\kappa * N_{OG,pl,d}} + \frac{\beta_m * M_{2,z,d}}{M_{z,OG,pl,d}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{579{,}6}{0{,}675 * 1369{,}3} + \frac{1{,}0 * 32{,}29}{77{,}73} + 0{,}06 = 1{,}10 \;>\; 1{,}0$$

Der BDK-Nachweis ist nicht erfüllt! Der Querschnitt muss verstärkt werden!

- **Biegedrillknicknachweis nach dem Ersatzstabverfahren**

Querschnittswerte:

HEB 300 mit Schiene (Schiene als nicht mittragend angenommen)

h =30 cm, b = 30 cm, s = 1,1 cm, t = 1,9 cm, A = 149 cm², I_y = 25170 cm^4,

$h_{Schiene}$ = 40 mm, $b_{Schiene}$ = 50 mm

Abstand der Schieneoberkante (Lastangriffspunkt der Schräglaufkraft) zum Schubmittelpunkt (= Schwerpunkt) des Kranbahnträger HEB 300

$$e_z = \frac{h}{2} + h_{Schiene} = \frac{30}{2} + 4{,}0 = 19 \text{ cm}$$

Schnittgrößen:

Schräglaufkraft $H^*_{S,k} = 15{,}95\,\text{kN}$

- Radlaststellung 1 maxM_y

$M_{1,y,k}$ = 130,48 kNm $M_{1,y,g,k}$ = 5,69 kNm $M_{1,z,k}$ = 22,79 kNm

Biegemomente

$$M_{1,z,d} = \gamma_F * \psi * M_{1,z,k} = 1{,}5 * 0{,}9 * 22{,}79 = 30{,}77\,\text{kNm}$$

$$M_{1,y,d} = \gamma_F * M_{1,y,g,k} + \gamma_F * \psi * M_{1,y,k} = 1{,}35 * 5{,}69 + 1{,}5 * 0{,}9 * 130{,}48 = 183{,}83\,\text{kNm}$$

- Radlaststellung 2 maxM_z

$M_{2,y,k}$ = 119,52 kNm $M_{2,y,g,k}$ = 5,99 kNm $M_{2,z,k}$ = 23,92 kNm

Biegemomente

$$M_{2,z,d} = \gamma_F * \psi * M_{2,z,k} = 1{,}5 * 0{,}9 * 23{,}92 = 32{,}29\,\text{kNm}$$

$$M_{2,y,d} = \gamma_F * M_{2,y,g,k} + \gamma_F * \psi * M_{2,y,k} = 1{,}35 * 5{,}99 + 1{,}5 * 0{,}9 * 119{,}52 = 169{,}44\,\text{kNm}$$

Umrechnung des Torsionsmomentes in ein Zusatzquerbiegemoment:

Anmerkung:
Das Zusatzquerbiegemoment darf vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, mit $M°_{z,d} = M_{z,d}$ angenommen werden. Diese Annahme resultiert aus dem Modell des Tragwirkungssplittings, bei dem die Horizontallast nur durch den Obergurt abgetragen wird, unter Vernachlässigung der Torsion. Da nun der gesamte Querschnitt (Ober- und Untergurt) zur Abtragung der Horizontallast herangezogen wird, wird der Träger, um die Torsion zu berücksichtigen, mit dem doppeltem Querbiegemoment $M_{z,d}$ belastet.
(Vgl. Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Auflage, Bauwerk-Verlag, Berlin 2009, S.174)

Torsionsmoment $M_{T,d} = \gamma_F * \psi * H^*_{S,k} * e_z = 1{,}5 * 0{,}9 * 15{,}95 * 19 = 409{,}12 \text{ kNcm}$

– Radlaststellung 1 an der Stelle x = 2,33 m

Wölbbimoment

$$M_{1,\omega,d} = \frac{M_{T,d}}{\lambda} * \left(\frac{\sinh(\lambda * (l - x))}{\sinh(\lambda * l)} * \sinh(\lambda * x) \right)$$

$$M_{1,\omega,d} = \frac{409{,}12}{0{,}0065} * \left(\frac{\sinh(0{,}0065 * (600 - 233))}{\sinh(0{,}0065 * 600)} * \sinh(0{,}0065 * 233) \right) = 29707 \text{ kNcm}^2$$

zusätzliches Querbiegemoment

$$M^*_{1,z,d} = 2 * \frac{M_{1,\omega,d}}{h - t} = 2 * \frac{29707}{30 - 1{,}9} = 21{,}14 \text{ kNm}$$

– Radlaststellung 2 an der Stelle x = l/2 = 3,0 m

Wölbbimoment

$$M_{2,\omega,d} = \frac{M_{T,d}}{\lambda} * \left(\frac{\sinh(\lambda * (l - x))}{\sinh(\lambda * l)} * \sinh(\lambda * x) \right)$$

$$M_{2,\omega,d} = \frac{409{,}12}{0{,}0065} * \left(\frac{\sinh(0{,}0065 * (600 - 300))}{\sinh(0{,}0065 * 600)} * \sinh(0{,}0065 * 300) \right) = 30222 \text{ kNcm}^2$$

zusätzliches Querbiegemoment

$$M^*_{2,z,d} = 2 * \frac{M_{1,\omega,d}}{h - t} = 2 * \frac{30222}{30 - 1{,}9} = 21{,}51 \text{ kNm}$$

BGDK-Nachweis nach DIN 18800-2 El. (321):

Ideales Biegedrillknickmoment $M_{ki,y,d}$ vereinfacht nach DIN 18800-2 Gl. (20)

Einschränkung: h_{HEB300} = 300 mm < 600 mm

$$M_{ki,y,d}=\frac{1{,}32*b*t*E*I_y}{l*h^2*\gamma_M}=\frac{1{,}32*30*1{,}9*21000*25170}{600*30^2*1{,}1}=669{,}5\,\text{kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad

$$\bar{\lambda}_M=\sqrt{\frac{M_{pl,y,d}}{M_{ki,y,d}}}=\sqrt{\frac{418}{669{,}5}}=0{,}79$$

Trägerbeiwert und Abminderungsfaktor κ_M

$$n=2{,}5\ (\text{gewalzte Träger})\longrightarrow\ \boldsymbol{\kappa_M=0{,}9}\ \text{ für } \bar{\lambda}_M=0{,}79$$

Beiwerte zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs

k_y = 1,0 und k_z = 1,0, da N=0

Nachweis

- Radlaststellung 1

$$\frac{M_{1,y,d}}{\kappa_M*M_{pl,y,d}}*k_y+\frac{M_{1,z,d}+M^*_{1,z,d}}{M_{pl,z,d}}*k_z\ \leq\ 1{,}00$$

$$\frac{183{,}83}{0{,}9*418}*1{,}0+\frac{30{,}77+21{,}14}{190}*1{,}0=0{,}76\ <\ 1{,}0$$

- Radlaststellung 2

$$\frac{M_{2,y,d}}{\kappa_M*M_{pl,y,d}}*k_y+\frac{M_{2,z,d}+M^*_{2,z,d}}{M_{pl,z,d}}*k_z\ \leq\ 1{,}00$$

$$\frac{169{,}44}{0{,}9*418}*1{,}0+\frac{32{,}29+21{,}51}{190}*1{,}0=0{,}73\ <\ 1{,}0$$

Der BGDK-Nachweis ist erfüllt!

2.1.5.5 Beulnachweis

Querschnittswerte

Beulfeldlänge a = 600cm, Beulfeldbreite b = h_1 = 20,8 cm, Beulfelddicke t = s = 1,1 cm, Iy = 25170 cm^4

Schnittgrößen

$M_{y,k}$ = 130,48 kNm $M_{y,g,k}$ = 5,69 kNm $V_{z,k}$ = 56,00 kN $V_{z,g,k}$ = 0,89 kN

Radlast F_k = 72,48 kN

$$M_{y,d}=\gamma_F*M_{y,k}+\gamma_F*M_{y,g,k}=1{,}35*5{,}69+1{,}5*130{,}48=203{,}4\,\text{kNm}$$

$$Q_{z,d}=\gamma*Q_{z,g,k}+\gamma*Q_{z,k}=1{,}35*0{,}89+1{,}5*56=85{,}20\,\text{kN}$$

$$F_d=\gamma*F_k=1{,}5*72{,}48=108{,}7\,\text{kN}$$

Radlasteinleitungslänge

$$c=2*(t+h_{0,75*\text{Schiene}}+r)+5\text{cm}=2*(1{,}9+3+2{,}7)+5=20{,}2\,\text{cm}$$

Spannungen

$$\sigma_{x,d}=\frac{M_{y,d}}{I_y}*\frac{b}{2}=\frac{203{,}4*100}{25170}*\frac{20{,}8}{2}=8{,}40\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{y,d}=\frac{F_d}{c*t}=\frac{108{,}7}{20{,}2*1{,}1}=4{,}89\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{xz,d}=\frac{Q_{z,d}}{A_{\text{Steg}}}=\frac{85{,}20}{20{,}8*1{,}1}=3{,}72\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Hilfswerte

$$\alpha=\frac{a}{b}=\frac{600}{20{,}8}=28{,}85$$

$$\beta=\frac{c}{a}=\frac{20{,}2}{600}=0{,}034$$

$$\psi=\frac{\sigma_{xu}}{\sigma_{xo}}=-1$$

Bezugsspannung

$$\sigma_e=18980*\left(\frac{t}{b}\right)^2=18980*\left(\frac{1{,}1}{20{,}8}\right)^2=53{,}08\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Beulwerte k und ideale Einzelbeulspannungen

$$\alpha=28{,}85>\frac{2}{3}\quad\rightarrow k_{\sigma_x}=23{,}9$$

$$\sigma_{x,Pi}=k_\sigma*\sigma_e=23{,}9*53{,}08=1268{,}6\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha=28{,}85>1\quad\rightarrow k_\tau=5{,}34+\frac{4{,}00}{\alpha^2}=5{,}34+\frac{4{,}00}{28{,}85^2}=5{,}34$$

$$\tau_{pi}=k_\tau*\sigma_e=5{,}34*53{,}08=283{,}4\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha^* = \frac{\alpha}{2} = \frac{28{,}85}{2} = 14{,}43 \qquad \beta^* = 2 * \beta = 2 * 0{,}034 = 0{,}068$$

$$k^*_{\sigma_y} = 0{,}255\,(\text{interpoliert}) \qquad k_{\sigma_y} = \frac{k^*_{\sigma_y}}{2} = \frac{0{,}255}{2} = 0{,}128$$

$$\sigma_{yPi} = k_{\sigma_y} * \sigma_e * \frac{a}{c} = 0{,}128 * 53{,}08 * \frac{600}{20{,}2} = 201{,}8\,\frac{kN}{cm^2}$$

Abminderungsfaktoren κ

$$\bar{\lambda}_{P\sigma x} = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}} = \sqrt{\frac{24}{1268{,}6}} = 0{,}138 < 0{,}673 \longrightarrow \kappa_x = 1{,}00$$

$$\bar{\lambda}_{P\sigma y} = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{yPi}}} = \sqrt{\frac{24}{201{,}8}} = 0{,}345 < 0{,}673 \longrightarrow \kappa_y = 1{,}00$$

$$\bar{\lambda}_{P\tau} = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} * \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{24}{283{,}4 * \sqrt{3}}} = 0{,}221 < 0{,}673 \longrightarrow \kappa_\tau = 1{,}00$$

Knickstabähnliches Verhalten DIN 18800-3 El. (602)

In x-Richtung:

Hilfswerte

$$2 \;\le\; \Lambda_{\sigma x} = \bar{\lambda}^2_{P\sigma x} + 0{,}5 \;\le\; 4$$

$$\Lambda_{\sigma x} = 0{,}138^2 + 0{,}5 = 0{,}52 \;\le\; 2$$

$$\frac{\sigma_{x,Pi}}{\sigma_{xKi}} = k_{\sigma_x} * \alpha^2 = 23{,}9 * 28{,}85^2 = 19892{,}5$$

Wichtungsfaktor ρ_x

$$\rho_x = \frac{\Lambda_{\sigma x} - \frac{\sigma_{x,Pi}}{\sigma_{xKi}}}{\Lambda_{\sigma x} - 1} > 0$$

$$\rho_x = \frac{2 - 19892{,}5}{2 - 1} = -19890{,}5 \;<\; 0 \;\longrightarrow\; \text{kein knickstabähnliches Verhalten}$$

In y-Richtung:

Hilfswerte

$$2 \;\le\; \Lambda_{\sigma y} = \bar{\lambda}^2_{P\sigma y} + 0{,}5 \;\le\; 4$$

$$\Lambda_{\sigma y} = 0{,}345^2 + 0{,}5 = 0{,}61 \;\le\; 2$$

$$\sigma_{yki} = 1{,}88 * \sigma_e = 1{,}88 * 53{,}08 = 99{,}79\,\frac{kN}{cm^2}$$

Wichtungsfaktor ρ_x

$$\rho_y = \frac{\Lambda_{\sigma y} - \frac{\sigma_{y,Pi}}{\sigma_{yKi}}}{\Lambda_{\sigma y} - 1} > 0$$

$$\rho_y = \frac{2 - \frac{201,8}{99,79}}{2-1} = -0,02 \approx 0 \longrightarrow \text{knickstabähnliches Verhalten berücksichtigen}$$

Abminderungsfaktor

$$\bar{\lambda}_{P\sigma y} = 0,345 \;>\; 0,2$$

$$k = 0,5 * \left(1 + 0,34 * (\bar{\lambda}_{P\sigma y} - 0,2) + \bar{\lambda}^2_{P\sigma y}\right) = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,345 - 0,2) + 0,345^2) = 0,584$$

$$\kappa_{yK} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}^2_{P\sigma y}}} = \frac{1}{0,584 + \sqrt{0,584^2 - 0,345^2}} = 0,95$$

$$\kappa_{yPK} = \left(1 - \rho_y^2\right) * \kappa_y + \rho_y^2 * \kappa_{yK} = (1 - 0^2) * 1,0 + 0^2 * 0,95 = 1,0$$

$$\kappa_{\Sigma y} = \kappa_{yPK} = 1,0$$

Grenzbeulspannungen

$$\sigma_{xP,R,d} = \kappa_x * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 1,0 * \frac{24}{1,1} = 21,8 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{yP,R,d} = \kappa_{\Sigma y} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 1,0 * \frac{24}{1,1} = 21,8 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{P,R,d} = \kappa_\tau * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}} = 1,0 * \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \frac{kN}{cm^2}$$

Einzelnachweis

$$\frac{\sigma_{x,d}}{\sigma_{xP,R,d}} = \frac{8,40}{21,8} = 0,39 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{y,d}}{\sigma_{yP,R,d}} = \frac{4,89}{21,8} = 0,22 < 1,0$$

$$\frac{\tau_{xz,d}}{\tau_{P,R,d}} = \frac{3,72}{12,6} = 0,30 < 1,0$$

Interaktionsnachweis

Hilfswerte

$$e_1 = 1 + \kappa_x^4 = 1 + 1,0^4 = 2$$

$$e_2 = 1 + \kappa_{\Sigma y}^4 = 1 + 1,0^4 = 2$$

$$e_3 = 1 + \kappa_x * \kappa_{\Sigma y} * \kappa_\tau^2 = 1 + 1,0 * 1,0 * 1,0^2 = 2$$

$$V = \left(\kappa_x * \kappa_{\Sigma y}\right)^6 = (1,0 * 1,0)^6 = 1,0$$

Nachweis

$$\left(\frac{|\sigma_{x,d}|}{\sigma_{xP,R,d}}\right)^{e_1}+\left(\frac{|\sigma_{y,d}|}{\sigma_{yP,R,d}}\right)^{e_2}-V*\left(\frac{|\sigma_{x,d}*\sigma_{y,d}|}{\sigma_{xP,R,d}*\sigma_{yP,R,d}}\right)+\left(\frac{\tau_{xz,d}}{\tau_{P,R,d}}\right)^{e_3}\leq 1$$

$$\left(\frac{|8{,}40|}{21{,}8}\right)^{2}+\left(\frac{|4{,}89|}{21{,}8}\right)^{2}-1*\left(\frac{|8{,}40*4{,}89|}{21{,}8*21{,}8}\right)+\left(\frac{3{,}72}{12{,}6}\right)^{2}=0{,}28\ <\ 1$$

2.1.5.6 Betriebsfestigkeitsnachweis

Querschnittswerte

Flächenmoment 1. Grades der Schiene

$$S_{y,Schiene}=A_{Schiene}*\left(\frac{h_{HEB300}}{2}+\frac{h_{Schiene}}{2}\right)=4{,}0*5{,}0*\left(\frac{30}{2}+\frac{4{,}0}{2}\right)=340\,cm^3$$

Flächenmoment 2. Grades des Trägers

I_y = 25170 cm^4

Radlasteinleitungslänge

$$c=2*(t+h_{0,75*Schiene}+r)+5cm=2*(1{,}9+3+2{,}7)+5=20{,}2\,cm$$

Schnittgrößen

$M_{y,k}$ = 130,48 kNm $M_{y,g,k}$ = 5,69 kNm $V_{z,k}$ = 112,08 kN $V_{z,g,k}$ = 3,99 kN

Radlast F_k = 72,48 kN

$$M_{y,d}=\gamma_F*M_{y,g,k}+\gamma_F*M_{y,k}=1{,}0*5{,}69+1{,}0*130{,}48=136{,}17\,kNm$$

$$V_{z,d}=\gamma*V_{z,g,k}+\gamma*V_{z,k}=1{,}0*3{,}99+1{,}0*112{,}08=116{,}07\,kN$$

$$F_d=\gamma*F_k=1{,}0*72{,}48=72{,}48\,kN$$

Nr.	NW-Stelle in Trägerlängsrichung	NW-Stelle im Querschnitt	Kerbfall	Nachzuweisende Spannung
1	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	K 453	$\bar{\sigma}_{\perp}$
2	Überall	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\perp}$
3	Überall	Stegansatz	W 13	$\bar{\sigma}_z$
4	Feld, maxM_y	Obergurt-Oberseite	K 123	σ_x
5	Auflager	Kehlnaht Schiene/Obergurt	-	$\bar{\tau}_{\parallel}+\tau_{\parallel}$
6	Auflager	Stegansatz	-	$\bar{\tau}_{xz}+\tau_{xz}$

Tabelle 17: Nachweisstellen für den Betriebsfestigkeitsnachweis

Quelle: Eigene Darstellung

Nr. 1:

Spannung

$$\max \bar{\tau}_{\perp} = \max \bar{\sigma}_{\perp} = \frac{F_d}{(2*h+5cm)*2a_w} = \frac{72{,}48}{(2*3{,}0+5)*2*0{,}5} = -6{,}59\frac{kN}{cm^2}$$

$$\max \bar{\sigma}_{\perp} = 0\frac{kN}{cm^2} \qquad \kappa = \frac{0}{-6{,}59} = 0;\ \text{Kerbfall K453} \longrightarrow \text{grenz}\,\sigma_{Be} = 15{,}28\frac{kN}{cm^2}$$

Anmerkung:
Die zulässige Spannnung grenz σ_{Be} muss nach DIN 4132 Abs. 4.4.5 nicht abgemindert werden, da die Zwängungsspannungen aus Radlasteinleitung berücksichtigt werden.

Nachweis

$$\frac{\max \bar{\sigma}_{\perp}}{\text{grenz}\,\sigma_{Be}} = \frac{6{,}59}{15{,}28} = 0{,}43 < 1{,}0$$

Kombinierter Nachweis nach DIN 4132 Abs. 4.4.3

Zwei Lastspiele pro Spannungsspiel (2 Räder mit gleicher Radlast überfahren den Träger)

Kerbfall K 4 → k = 3,323

$$\sum\left(\frac{\max \bar{\sigma}_{\perp}}{\text{grenz}\,\sigma_{Be}}\right)^k = 2*\left(\frac{6{,}59}{15{,}28}\right)^{3{,}323} = 0{,}122 < 1{,}0$$

Nr. 2:

Spannungen

$$\max \bar{\tau}_{\perp} = -6{,}59\frac{kN}{cm^2}$$

$$\max \bar{\tau}_{\perp} = 0\frac{kN}{cm^2} \qquad \kappa = \frac{0}{-6{,}59} = 0;\ \text{Kehlnaht} \longrightarrow \text{grenz}\,\tau_{Be} = 16{,}97*0{,}6 = 10{,}18\frac{kN}{cm^2}$$

Anmerkung:
Die zulässige Spannnung grenz τ_{Be} muss nach DIN 4132 Abs. 4.4.5 mit dem Faktor 0,6 abgemindert werden, da es sich bei der Nachweisstelle um eine Kehlnaht handelt. Des weiteren darf im Schwellbereich $0 \leq \kappa \leq +1$ mit höheren grenz τ_{Be}-Spannungen nach DIN 4132 Tab. 3 gerechnet werden.

$\kappa = 0$; Beanspruchungsgruppe B3 $\longrightarrow$ $\text{grenz}\,\sigma_{Be,z,0} = \frac{5}{3} * \text{grenz}\,\sigma_{Be,-1} = \frac{5}{3} * 20{,}18 = 33{,}63\,\frac{kN}{cm^2}$

$$\text{grenz}\,\tau_{Be,\kappa} = \frac{\text{grenz}\,\sigma_{Be,z,\kappa}}{\sqrt{2}}$$

Kehlnaht $\longrightarrow$ Faktor 0,6

$$\text{grenz}\,\tau_{Be,0} = \frac{\text{grenz}\,\sigma_{Be,z,0}}{\sqrt{2}} * 0{,}6 = \frac{33{,}63}{\sqrt{2}} * 0{,}6 = 14{,}27\,\frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\max \bar{\tau}_{\perp}}{\text{grenz}\,\tau_{Be,0}} = \frac{6{,}59}{14{,}27} = 0{,}46 \;<\; 1{,}0$$

Kombinierter Nachweis nach DIN 4132 Abs. 4.4.3

Zwei Lastspiele pro Spannungsspiel (2 Räder mit gleicher Radlast überfahren den Träger)

$$\sum \left(\frac{\max \bar{\tau}_{\perp}}{\text{grenz}\,\tau_{Be,0}} \right)^k = 2 * \left(\frac{6{,}59}{14{,}27} \right)^{3{,}323} = 0{,}15 \;<\; 1{,}0$$

Nr. 3:

Spannung

$$\max \bar{\sigma}_z = \frac{F_d}{c * s} = \frac{72{,}48}{20{,}2 * 1{,}1} = -3{,}26\,\frac{kN}{cm^2}$$

$\max \bar{\sigma}_z = 0\,\frac{kN}{cm^2}$ $\qquad$ $\kappa = \frac{0}{-3{,}26} = 0$; Kerbfall W13 $\longrightarrow$ $\text{grenz}\,\sigma_{Be} = 24{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$

Anmerkung:
Die zulässige Spannnung grenz σ_{Be} muss nach DIN 4132 Abs. 4.4.5 nicht abgemindert werden, da die Zwängungsspannungen aus Radlasteinleitung berücksichtigt werden.

Nachweis

$$\frac{\max \bar{\sigma}_z}{\text{grenz}\,\sigma_{Be}} = \frac{3{,}26}{24} = 0{,}14 \;<\; 1{,}0$$

Kombinierter Nachweis nach DIN 4132 Abs. 4.4.3

Zwei Lastspiele pro Spannungsspiel (2 Räder mit gleicher Radlast überfahren den Träger)

Kerbfall W1 → k = 6,635

$$\sum \left(\frac{\max \bar{\sigma}_z}{\text{grenz}\,\sigma_{Be}} \right)^k = 2 * \left(\frac{3{,}26}{24} \right)^{6{,}635} \approx 0{,}00 \;<\; 1{,}0$$

Nr. 4:

Schnittgrößen

$$\max M_{y,d} = M_{y,d} = 136{,}17\,\text{kNm}$$

$$\min M_{y,d} = \gamma_F * M_{y,g,k} = 1{,}0 * 5{,}69 = 5{,}69\,\text{kNm}$$

$$\kappa = \frac{-5{,}69}{-136{,}17} = 0{,}04;\ \text{Kerbfall K123} \rightarrow \text{grenz}\,\sigma_{Be} = 24\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > 16{,}00\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Spannung

$$\max \sigma_x = \frac{\max M_{y,d}}{W_y} = \frac{136{,}17 * 100}{1680} = -8{,}1\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\max \sigma_x}{\text{grenz}\,\sigma_{Be}} = \frac{8{,}1}{16} = 0{,}51 < 1{,}0$$

Nr. 5:

Spannungen

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,d} * S_{y,\text{Schiene}}}{I_y * 2 * a} = \frac{116{,}07 * 340}{25170 * 2 * 0{,}5} = 1{,}57\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\bar{\tau}_{\parallel} = 0{,}2 * \bar{\sigma}_{\perp} = 0{,}2 * 6{,}59 = 1{,}32\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\max \tau_{\parallel} = \tau_{\parallel} + \bar{\tau}_{\parallel} = 1{,}57 + 1{,}32 = 2{,}89\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\min \tau_{\parallel} = \frac{V_{z,g,d} * S_{y,\text{Schiene}}}{I_y * 2 * a} = \frac{3{,}99 * 340}{25170 * 2 * 0{,}5} = 0{,}05\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\kappa = \frac{0{,}05}{2{,}89} = 0{,}02;\ \text{Kehlnaht} \rightarrow \text{grenz}\,\tau_{Be} = 16{,}97 * 0{,}6 = 10{,}18\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\max \tau_{\parallel}}{\text{grenz}\,\tau_{Be}} = \frac{2{,}89}{10{,}18} = 0{,}28 < 1{,}0$$

Nr. 6:

Spannungen

$$\tau_{xz} = \frac{V_{z,d}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{116{,}07}{30{,}9} = 3{,}76\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\bar{\tau}_{xz} = 0{,}2 * \max \bar{\sigma}_z = 0{,}2 * 3{,}26 = 0{,}65\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\max \tau_{gesamt} = 3{,}76 + 0{,}65 = 4{,}41 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\min \tau_{xz} = \frac{V_{z,g,d}}{A_{Steg}} = \frac{3{,}99}{30{,}9} = 0{,}13 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\kappa = \frac{0{,}13}{4{,}41} = 0{,}03; \text{ Schubspannung } \rightarrow \text{ grenz } \tau_{Be} = 13{,}86 \frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\max \tau_{gesamt}}{\text{grenz } \tau_{Be}} = \frac{4{,}41}{13{,}86} = 0{,}32 \; < \; 1{,}0$$

2.1.5.7 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Einwirkungen

Eigengewicht $g_k = 1{,}33 \frac{kN}{m}$

Radlasten (ohne Schwingbeiwert) $F_{1,k} = R_{1,k} = 60{,}40\,kN$

$F_{2,k} = R_{2,k} = 60{,}00\,kN$

Schräglaufkraft $H^*_{s,k} = 15{,}95\,kN$

Einwirkungungskombination

$$\gamma_F * g_k + \gamma_F * F_{1,k} + \gamma_F * F_{2,k} + \gamma_F * H^*_{s,k} = 1{,}0 * g_k + 1{,}0 * F_{1,k} + 1{,}0 * F_{2,k} + 1{,}0 * H^*_{s,k}$$

Vorhandene Durchbiegung

Durchbiegungswerte ermittelt mit Statikprogramm RSTAB 5.14

$$\text{vorh } \delta_z = 9{,}9 \text{ mm } \left(\text{Radlaststellung 1 max } M_{y,k}\right)$$

$$\text{vorh } \delta_y = 4{,}4 \text{ mm } \left(\text{Radlaststellung 2 max } M_{z,k}\right)$$

Zulässige Durchbiegungen nach EC3-6 Tab. 7.1 und 7.2

$$\text{zul } \delta_z = \frac{l}{600} = \frac{6000}{600} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{zul } \delta_y = \frac{l}{600} = \frac{6000}{600} = 10 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{\text{vorh } \delta_z}{\text{zul } \delta_z} = \frac{9{,}9}{10} = 0{,}99 \; < \; 1{,}0$$

$$\frac{\text{vorh } \delta_y}{\text{zul } \delta_y} = \frac{4{,}4}{10} = 0{,}44 \; < \; 1{,}0$$

2.2 Hallentragwerke aus Stahl in Rahmenbauweise

Typisch für Hallentragwerke aus Stahl ist die Rahmenbauweise als Zweigelenkrahmen, bei der die Rahmenriegel biegesteif mit den Stützen verbunden sind und die Auflager der Stützen als Gelenk ausgebildet werden.
Vorteile des Zweigelenkrahmens gegenüber Hallensystemen mit eingespannten Stützen und gegelenkig gelagerten Riegeln sind:

- einfach zu realisierende Fußkonstruktion
- kleinere Fundamentabmessung, da keine Biegemomente vom Fundament übertragen werden müssen
- geringere Bauhöhe des Riegelquerschnittes aufgrund der Reduzierung des Feldmomentes des Rahmenriegels durch die biegesteifen Riegel-Stützen-Anschlüsse

Nachteilig ist, dass die Stützen neben der Normalkraft durch lotrechte Lasten auch die Eckmomente übertragen müssen, die in der Regel größer sind als die Einspannmomente eingespannter Stützen. Aufgrund dessen müssen hierfür größere Querschnitte gewählt werden.

2.2.1 Stabilisierung von Hallentragwerken aus Zweigelenkrahmen

In Rahmenebene werden Zweigelenkrahmen durch die biegesteifen Verbindungen zwischen den Stützen und Riegeln stabilisiert. Die Rahmentragwirkung wird auch für die Aussteifung von Hallentragwerke senkrecht zur Rahmenebene verwendet, wenn ein ungehinderter Durchgang zwischen den Stützen gebäudetechnisch erforderlich ist. In der Regel werden aber Verbände unterschiedlichster konstruktiver Ausbildung verwendet, wobei Verbände mit druckschlaffen Diagonalen bevorzugt werden. Schubfelder bilden neben Verbänden eine weitere Möglichkeit die Dachebene zu stabilisieren. Die Anzahl der Verbandsfelder sollte so gewählt werden, dass maximal 5 Hallenfelder verbandsfrei gehalten werden[8].

2.2.2 Einwirkungen auf Hallentragwerke

Schnee- und Windeinwirkung sind die standardmäßigen Umwelteinflüsse, die für die Dimensionierung der Querschnitte eines Hallentragwerkes berücksichtigt werden müssen. Die DIN 1055-4 regelt die anzusetzenden Kräfte auf das Tragwerk infolge Wind in Abhängigkeit der Geometrie des Gebäudes, der geographischen Lage und der Topographie des Bauortes. In der DIN 1055-5 werden unter Berücksichtigung der Dachneigung, der architektonischen Besonderheiten der Dachform und der geographi-

8 Vgl. Petersen, C.: Stahlbau, 3. Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1993, S. 877.

schen Lage des Bauortes die Belastung des Tragwerkes infolge Schnee festgelegt. Wichten und Flächenlasten von Baustoffen und Bauteilen für den Ansatz des Eigengewichts der Konstruktion können in der DIN 1055-1 nachgeschlagen werden.
Produktionshallen werden häufig mit Kranen ausgerüstet, deren Belastungen entweder den Kran-Datenblättern der Hersteller zu entnehmen sind oder nach DIN 1055-10 berechnet werden können. Weitere Belastungen können durch Anprall von Fahrzeugen (DIN 1055-9), durch Erdbebeneinwirkungen (DIN 4149) und Explosionseinwirkungen entstehen. Je nach Gebäudenutzung müssen projektbezogen weitere Einwirkungen eventuell berücksichtigt werden.

2.2.3 Normen für die Berechnung von Hallentragwerken aus Stahl

Stahlkonstruktion können nach DIN 18800 berechnet werden. In dieser Normenreihe werden die notwendigen Tragsicherheitsnachweise, wie Spannungsnachweise (DIN 18800-1) und Stabilitätsnachweise (DIN 18800-2 und DIN 18800-3) geregelt. Jedoch werden keine Grenzwerte für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis zur Verfügung gestellt. Wird als Dacheindeckung des Gebäudes Trapezblech verwendet, können der DIN 18807 Teil 3 Verformungsgrenzwerte entnommen werden. Findet in der Halle Kranbetrieb statt, wird nach EC 3-6 (DIN EN 1993-6) die horizontale Schiefstellung der Stützen in Abhängigkeit der Hubklasse begrenzt. Andernfalls sind in Abstimmung mit dem Bauherren Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit festzulegen.

2.2.4 Tragsicherheitsnachweise für Hallenrahmen

Die Rahmenquerschnitte sind mit den maßgebenden (betragsmäßig größten) Schnittgrößen einer Lastfallgruppe auf Tragsicherheit zu untersuchen. Häufig ist es erforderlich, einzelne Querschnitte mit den Schnittgrößen mehrerer Lastfallgruppen zu untersuchen, wenn z.B. das maximale Biegemoment in der einen Lastfallgruppe entsteht und die maximale Normalkraft in einer anderen Lastfallgruppe auftritt. Neben dem Spannungsnachweis sind auch die Stabilitätsnachweise Biegeknicken und Biegedrillknicken für die einzelnen Querschnitte zu führen.
Die Rahmenriegel werden gegen Biegeknicken für die gesamte freispannende Länge nachgewiesen, wohingegen die Biegedrillknicklänge in der Regel verkürzt werden darf. Hierfür wird beim Biegedrillknickachweis nach dem Ersatzstabverfahren (DIN 18800-2) der Abstand der Anschlusspunkte des Dachverbandes am Riegel angenommen, sofern die Dachverbände eine ausreichende Kippstabilität gewährleisten. Dies ist bei stahlbaumäßig ausgeführten Dachverbänden erfahrungsgemäß erfüllt.[9] Eine Alternative zum Biegedrillknicknachweis stellt der Nachweis eines ausreichenden Drehbettungswi-

9 Vgl. Lohse, W.: Stahlbau 2, 20. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden 2005, S. 245.

derstandes dar. Dieser kann durch die aufliegende Hüllkonstruktion, z.B das Trapezprofil bei pfettenlosen Dächern, gewährleistet werden.
Während beim Biegeknicknachweis nach dem Ersatzstabverfahren (DIN 18800-2) des Riegels die anzusetzende Knicklänge einfach zu bestimmen ist (≙ gesamte freispannende Länge), ist dies für den Nachweis der Rahmenstielen in Rahmenebene nicht ohne weiteres möglich. Die Knicklänge der Stiele ist abhängig vom Steifigkeitsverhältnis Riegel/Stützen sowie deren Abmessungen. Für einfache Rahmenkonstruktionen sind in der Literatur Algorithmen für die Berechnung der Knicklängen angegeben. Um die Ermittlung der Knicklänge zu umgehen, kann der Biegeknicknachweis als Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz der Ersatzimperfektionen nach DIN 18800-2 geführt werden. Außerhalb der Rahmenebene ist die Stütze gegen Biegedrillknicken nachzuweisen, wobei die Biegedrillknicklänge über die gesamte Stützenhöhe anzunehmen ist, sofern keine zusätzlichen Zwangsdrehpunkte vorhanden sind.

2.2.5 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Kriterien für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis sind im Allgemeinen:

„ a) Verformungen und Verschiebungen, die das
- Erscheinungsbild,
- das Wohlbefinden der Nutzer oder
- die Funktion des Tragwerkes (einschließlich der Funktionsfähigkeit von Maschinen und Installationen) beeinflussen oder
- die Schäden an Belägen, Beschichtungen oder an nichttragenden Bauteilen hervorrufen;

b) Schwingungen,
- die bei Personen körperliches Unbehagen hervorrufen oder
- die Funktionsfähigkeit des Tragwerkes einschränken;

c) Schäden, die voraussichtlich das
- Erscheinungsbild,
- die Dauerhaftigkeit oder
- die Funktionsfähigkeit des Tragwerkes nachteilig beeinflussen.“[10]

Für einfache Hallentragwerke ist in der Regel nur die Verformung und Verschiebung von Bedeutung. Grenzwerte für die Verformung und Schiefstellung von Stahltragwerken sind in der DIN 18800 nicht vorgeschlagen. Hierfür kann man auf die Grenzwerte der DIN 18807-3 Kap. 3.3.4.2 zurückgreifen, wenn Stahltrapezprofile als Dach- und/oder Wandverkleidung eingesetzt werden.

10 DIN EN 1990 Kap. 3.4 Abs. 3.

Anwendungsbereich des Trapezblechs	Durchbiegungsbeschränkung
bei Dächern unter Vollast (Eigenlast + Verkehrslast):	
mit oberseitiger Abdichtung (Warmdach)	l/300
mit oberseitiger Deckung (zweischaliges Dach, hier Unterschale)	l/150
als Deckung (Wetterhaut)	l/150
bei Wänden unter Windlast	l/150

Tabelle 18: Verformungsgrenzwerte für Stahltrapezprofile nach DIN 18807-3 Kap. 3.3.4.2

Quelle: Eigene Darstellung

Werden Bauwerke mit Kranen ausgerüstet, deren Auflager an den Stützen der Tragwerke angeschlossen sind, werden die Stützenschiefstellung nach EC 3 (DIN EN 1993-6) zusammen mit dem Nationalen Anhang begrenzt. In Tabelle 7.1 der DIN EN 1993-6 wird die maximale horizontale Stützenverschiebung in Höhe der Kranauflagerung h_c mit $\delta_y \leq h_c/400$ festgelegt. Der Nationale Anhang DIN EN 1993-6/NA relativiert diese Vorgabe und setzt folgende Grenzwerte fest:

Hubklasse	grenz δ_y
HC 1	h_c / 250
HC 2	h_c / 300
HC 3	h_c / 350
HC 4	h_c / 400

Tabelle 19: Grenzwerte für Stützenverschiebung

Quelle: DIN EN 1993-6/NA Tabelle 2

Für die Ermittlung der horizontalen Verschiebung der Stützen müssen nur Lasten infolge Kranbetrieb angesetzt werden.[11]

Die DIN 18800-1 El. (722) reduziert den Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstandgrößen γ_M im Gebrauchstauglichkeitsnachweis auf 1,0. Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen werden jedoch nicht geregelt. In der Praxis wird $\gamma_F = \psi = 1{,}0$ angesetzt und so das Eigengewicht mit allen veränderlichen Lasten kombiniert.

11 Vgl. DIN EN 1993-6/NA Kap. 3.10.

2.2.6 Ansatz der Dachlasten eines Pfettendaches auf den Rahmenriegel

Ziel der Modellierung eines Stabwerksmodells ist es, das zu berechnende Tragwerk möglichst realistisch abzubilden und alle Randbedingungen ausreichend zu erfassen, um eine sichere und wirtschaftliche Dimensionierung vornehmen zu können.
Bei der Modellierung eines Hallenrahmens mit Pfettendach ist es nur konsequent, an den Lagerstellen der Pfetten auf dem Rahmenriegel Einzellasten anzusetzen, da das Hüllelement, z.B. Trapezprofile, die Lasten aus Wind und Schnee über die Pfetten in den Rahmenriegel einleitet. Die Umrechnung der Lasten vom Trapezprofil über die Pfetten auf den Rahmenriegel ist äußerst aufwendig, nicht zuletzt durch die Einteilung des Daches in unterschiedliche Bereiche bei der Windlastannahme. Eine erhebliche Einsparung des Rechenaufwandes würde die Idealisierung der Einzellasten als Streckenlasten auf den Rahmenriegel bedeuten. Fraglich ist jedoch mit welcher Genauigkeit und Sicherheit.
In Tabelle 20 werden die beiden Lastansätze anhand der Schneelast für die nachfolgend vorgestellte zweischiffige Halle, unter Annahme eines Rahmenabstand von 6 m, gegenübergestellt.

1.Hallenschiff			
Belastung	Eckmoment links	Feldmoment	Eckmoment rechts
Schneelast Knotenlast	-63,50	93,59	-143,82
Schneelast Streckenlast	-63,14	95,45	-145,88
Abweichung	-0,7%	+2,0%	+1.4%
2. Halleschiff			
Schneelast Knotenlast	-180,95	103,67	-100,63
Schneelast Streckenlast	-186,36	107,96	-103,61
Abweichung	+3,0%	+4,1%	+3,0%

Tabelle 20: Vergleich von Knoten- und Streckenlastansatz auf den Rahmenriegel
Quelle: Eigene Darstellung

Es zeigt sich, dass beide Lastansätze zu annähernd gleichen Ergebnissen führen, wobei mit dem Ansatz von Streckenlasten meist leicht höhere Schnittgrößen ermittelt werden. Der viel größere Rechenaufwand beim Ansatz von Einzellasten kann deshalb erspart bleiben.

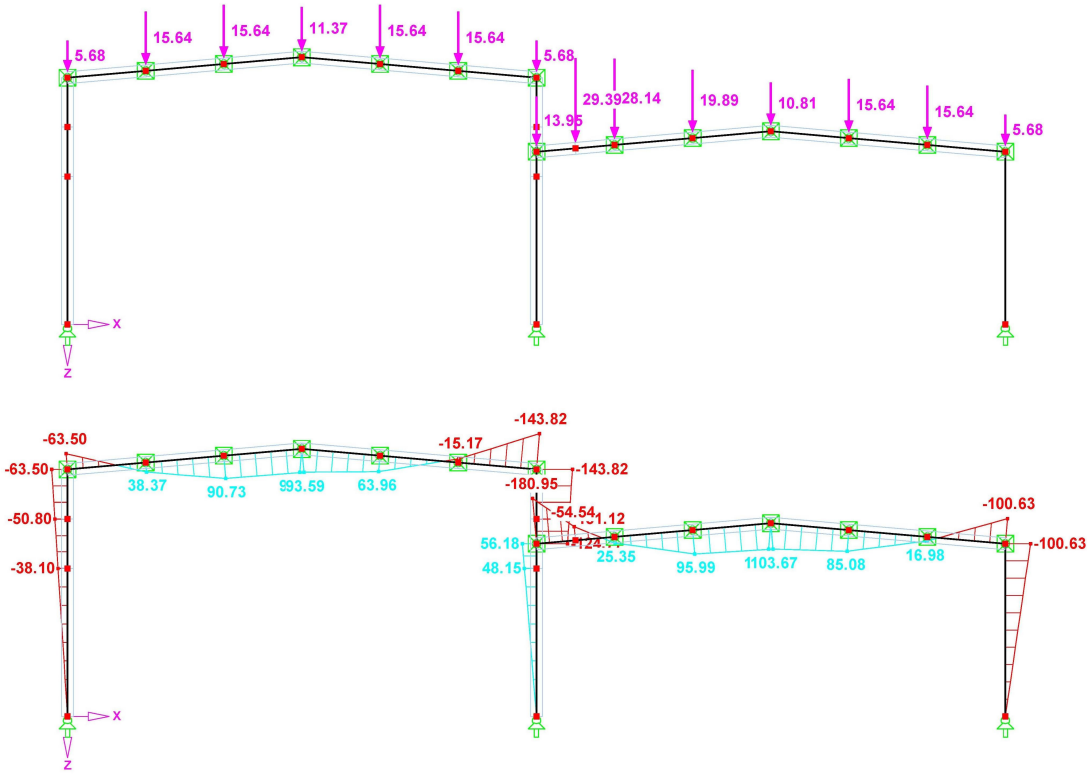


Abbildung 14: Ansatz der Schneelast als Knotenlast auf die Rahmenriegel

Quelle: Eigene Darstellung

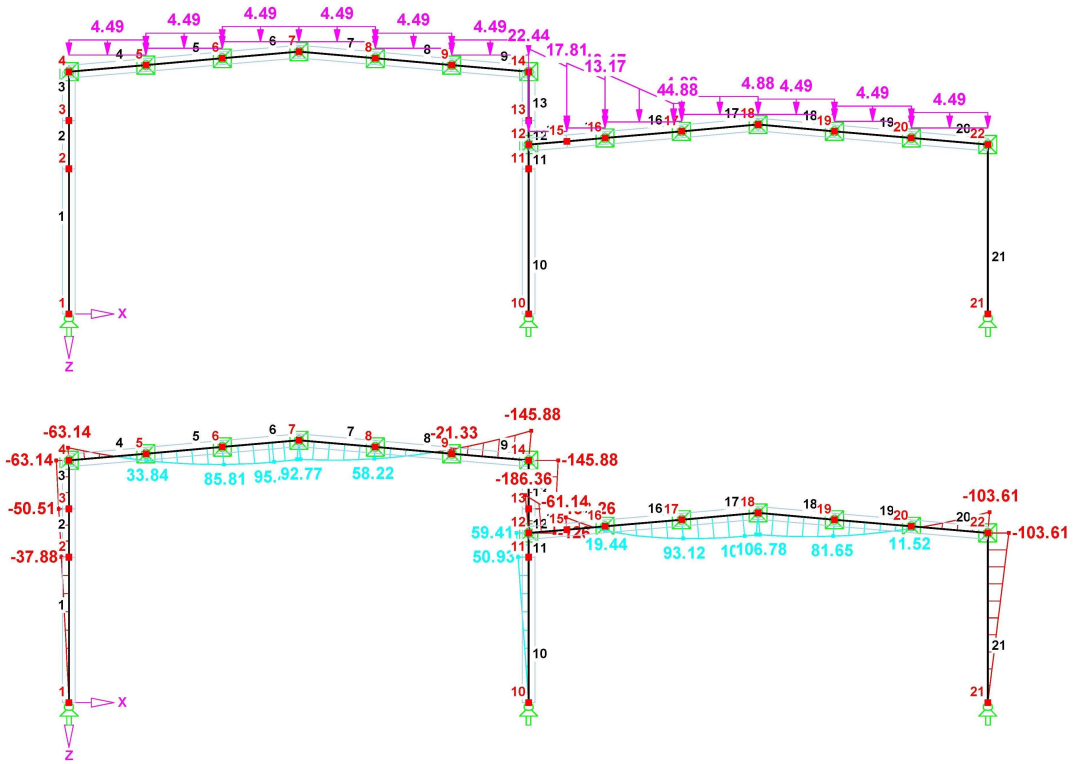


Abbildung 15: Ansatz der Schneelast als Streckenlast auf die Rahmenriegel

Quelle: Eigene Darstellung

3 Variantenvergleich einer zweischiffigen Industriehalle aus Stahl

Das nachfolgend vorgestellte zweischiffige Hallentragwerk wird unter dem Gesichtspunkt Materialeinsparung untersucht. Hierfür sind die Rahmenabmessungen festgelegt, wobei der Rahmenabstand und die Belastungen infolge Kranbetrieb variieren.

3.1 Festlegung der Rahmenabmessungen

Diese Rahmenabmessungen gelten für die nachfolgende Untersuchung:

1. Hallenschiff: Hallenbreite (Achsmaß): 19,00 m
   Hallenlänge (Achsmaß): 60,00 m
   Firsthöhe (Achsmaß): 10,83 m
   Traufhöhe (Achsmaß): 10,00 m
   Dachneigung: 5°
   Höhe der 1. Kranbahnkonsole: 6,00 m
   Höhe der 2. Kranbahnkonsole: 8,00 m
2. Hallenschiff: Hallenbreite (Achsmaß): 19,00 m
   Hallenlänge (Achsmaß): 60,00 m
   Firsthöhe (Achsmaß): 7,83 m
   Traufhöhe (Achsmaß): 7,00 m
   Dachneigung: 5°

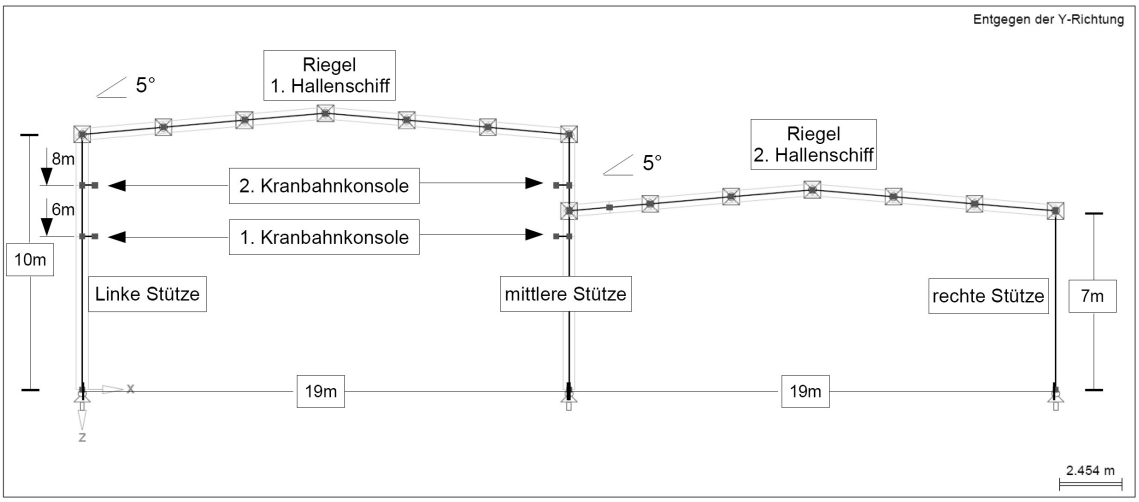


Abbildung 16: Struktur des Hallenrahmens

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Festlegung des statischen Systems

Unter dem Gesichtspunkt der Materialeinsparung werden zwei statische Systeme für den Hallenrahmen untersucht. Das System „3-stieliger Rahmen“ wird mit dem System „Zweigelenkrahmen mit gelenkig angeschlossenem 2. Hallenschiff“ verglichen, wobei bei beiden Systemen die Stützenfüße als horizontale Festlager ausgebildet werden. Für die Berechnung der beiden Hallenrahmen werden die Lastfälle Eigengewicht, Wind- und Schneelasten sowie eine Beschränkung der Durchbiegung der Rahmenriegel von l/300 zugrunde gelegt.

Bauteil	Querschnitt	
	3-stieliger Rahmen	Zweigelenkrahmen mit gelenkig angeschlossenem 2. Hallenschiff
Stütze 1. Hallenschiff	HEA 400	HEA 400
Riegel 1. Hallenschiff	IPE 550	IPE 600
Mittlere Stütze	HEA 450	HEA 450
Riegel 2. Hallenschiff	IPE 550	IPE 750 x 137
Stütze 2. Hallenschiff	HEA 340	HEA 340
Gesamtgewicht	7389 kg	8326 kg
Stützenverschiebung horizontal	62 mm	100 mm

Tabelle 21: Vergleich der statischen Systeme „3-stieliger Rahmen“ und „Zweigelenkrahmen mit gelenkig angeschlossenem 2. Hallenschiff“

Quelle: Eigene Darstellung

Wie aus Tabelle 21 ersichtlich, kann ohne die Berücksichtigung der erheblich größeren horizontalen Stützenverschiebung des Systemes „Zweigelenkrahmen mit gelenkig angeschlossenem 2. Hallenschiff“ gegenüber dem System „3-stieliger Rahmen“, mit dem System „3-stieliger Rahmen“ knapp 1 t Stahl eingespart werden. Deshalb erfolgt die weitere Untersuchung anhand des System „3-stieliger Rahmen“.

Weiter wird festgelegt, dass die Kranbahnkonsolen im 1. Hallenschiff biegesteif an die Hallenstützen angeschlossen werden. Für den Nachweis der Rahmenriegel gegen Biegedrillknicken wird angenommen, dass diese gegen seitliches ausweichen an mindestens 7 Punkten durch den Dachverband gehalten sind, so dass die Biegedrillknicklänge für die Berechnung auf 1/6 reduziert werden darf. Als Biegedrillknicklänge für die linke und rechte Stütze werden die Stützenhöhen angenommen. An der mittleren Stütze wird die Biegedrillknicklänge in Höhe des Anschlusspunktes des Riegels des 2. Hallenschiffes geteilt.

3.3 Bestimmung der Positionen von zwei übereinander angeordneten Kranen mit unterschiedlicher Traglast für eine wirtschaftliche Dimensionierung

Für den Variantenvergleich der zweischiffigen Industriehalle werden Brückenlaufkrane mit unterschiedlicher Hublast angesetzt. Nach DIN 4132 Kap.3.2.3 müssen die Lasten von „zwei übereinander laufenden Kranen je Hallenschiff“[12] gleichzeitig angesetzt werden. Deshalb muss für eine wirtschaftliche Auslegung des Hallenrahmens abgeklärt werden, ob der Kran mit der größeren Traglast unter- oder oberhalb des Kranes mit der kleineren Traglast anzuordnen ist.

In Tabelle 22 werden die errechneten Ausnutzungsgrade der Rahmenquerschnitte des Hallenrahmens für den Spannungs- und Biegedrillknicknachweis für die Krankombination 2 t-Kran (ELK 2 t x 18000 mm) mit 16 t-Kran (ZLK 16 t x 18000 mm) aufgelistet. Die Datenblätter der genannten Krane können der Anlage 1 entnommen werden.

2 t Kran unter dem 16 t Kran angeordnet					
	Linke Stütze	Riegel 1. Hallenschiff	Mittlere Stütze	Riegel 2. Hallenschiff	Rechte Stütze
	HEA 450	IPE 550	HEA 500	IPE 550	HEA 400
Spannungs-nachweis	67 %	97 %	**84 %**	**1,16 %**[*)]	90 %
BGDK-Nachweis	**88,4 %**	**86,6 %**	**76,3 %**	1,02 %[*)]	**76,7 %**
2 t Kran über dem 16 t Kran angeordnet					
	HEA 450	IPE 550	HEA 500	IPE 550	HEA 400
Spannungs-nachweis	**68 %**	97 %	69 %	1,15 %[*)]	90 %
BGDK-Nachweis	86,9 %	86 %	62,1 %	1,0 2%[*)]	76,6 %
[*)] Die Überschreitung der Auslastung ist nicht zulässig. Es ist erforderlich, den Riegel des 2. Hallenschiffs mit einer Voute am Anschluss zur Mittelstütze zu verstärken. Für die Berechnung ist diese aussteifende Wirkung nicht berücksichtigt.					

Tabelle 22: Vergleich der Auslastung des Rahmens bei unterschiedlicher Kranposition

Quelle: Eigene Darstellung

Als Schlussfolgerung aus dem Vergleich der Tabellenwerte lässt sich festhalten, dass es für den Hallenrahmen günstiger ist, den Kran mit der größeren Hublast unterhalb des Kranes mit der geringen Hublast anzuordnen. Dies ist einzig begründet in einer geringeren Auslastung der mittleren Stütze, wohingegen die unterschiedliche Anordnung der beiden Krane kaum Auswirkungen auf die Auslastung der beiden anderen Stützen sowie der Rahmenriegel hat.

12 DIN 4132 Kranbahnen, Stahltragwerke, Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, Ausgabe 02/1981, Kap. 3.2.3.

3.4 Kräfte infolge Verbandswirkung

Für das vorgestellte Hallentragwerk wird, unter Annahme eines Rahmenabstandes von 6 m und Kranbetrieb mit einem 2 t-Kran und einem 10 t-Kran, der Einfluss der Kräfte infolge Verbandswirkung auf die Auslastung der Rahmenquerschnitte untersucht.

Die Verbände werden im ersten und letzten Hallenfeld angeordnet und müssen im Dachbereich zum einen die Kräfte infolge Wind auf die Giebelwände weiterleiten. Zum anderen werden die Dachverbände durch die Abtriebskräfte der Riegelobergurte belastet, da die Knotenpunkte von Dachverband und Rahmenriegel als horizontal gehalten angenommen werden. Die Aufgabe der Wandverbände ist es, die Kräfte der Dachverbände infolge von Wind auf die Giebelwände in den Baugrund abzuleiten und die Abtriebskräfte nach DIN 18800-2 aus der Vorverdrehung der Stützen aufzunehmen. Da die Gurte der Verbandsfelder von den Rahmenriegeln und Stützen gebildet werden, werden die Bauteile zusätzlich zu Wind, Schnee und Kraneinwirkung durch Normalkräfte infolge der Verbandswirkung belastet.

In Tabelle 23 wird anhand des 2. Rahmens bzw. des vorletzten Rahmens der Halle der Einfluss dieser Normalkräfte untersucht.

Nachweis	Linke Stütze		Riegel 1. Hallenschiff		Mittlere Stütze		Riegel 2. Hallenschiff		Rechte Stütze	
	HEA 450		IPE 550		HEA 450		IPE 550		HEA 400	
	Ohne Verband	Mit Verband	Ohne Verband	Mit Verband	Ohne Verband	Mit Verband	Ohne Verband	Mit Verband	Ohne Verband	Mit Verband
Spannungs-nachweis	**59 %**	57 %	**89 %**	87 %	**78 %**	75 %	108 %	**110 %**	90 %	90 %
BGDK-Nachweis	**76,6 %**	74 %	**79,3 %**	76,1 %	69,9 %	**72,1 %**	95,4 %	**95,5 %**	**82,2 %**	81,8 %

Tabelle 23: Vergleich der Auslastungen des Hallenrahmens mit und ohne Kräfte infolge von Verbandswirkung

Quelle: Eigene Darstellung

Wie aus Tabelle 23 ersichtlich, führt der Ansatz der Normalkräfte infolge von Verbandswirkung zu keinen oder nur geringfügig höheren Auslastungen des Spannungs- und Biegedrillknicknachweises. Aus diesem Grund kann der Ansatz der Normalkräfte infolge von Verbandswirkung vernachlässigt werden.

3.5 Lastannahmen

Das Hallentragwerk wird neben Wind- und Schneeeinwirkung von zwei übereinander angeordneten Brückenlaufkranen belastet. Alle weiteren möglichen Einwirkungen, wie z.B. Erdbebeneinwirkung und Fahrzeuganprall, werden nicht berücksichtigt. Deshalb müssen diese ausgeschlossen oder konstruktiv vermieden werden.
Für die Berechnung der zweischiffigen Halle wird folgende bauortspezifische Annahme getroffen:

- Windzone 2 (Binnenland)
- Schneelastzone 2 bis 285 m ü. d. M.

3.5.1 Eigengewicht

Das Eigengewicht der Hüllkonstruktion im Dachbereich der Halle wird pauschal mit q = 0,5 kN/m² festgelegt, wobei eine 3-Feldträgerwirkung der Hüllelemente Berücksichtigung findet.
Ausgangspunkt für die Berechnung der Kranbahnträgerquerschnitte aus HEB-Walzprofilen sind die Kran-Datenblätter der Anlage 1. In Tabelle 24 sind die erforderlichen Querschnitte für die vier zu berücksichtigenden Krane aufgeführt. Gemäß den Eigengewichten der HEB-Walzprofile wird eine Einzellast auf den Kranbahnkonsolen berücksichtigt.

Krantyp	statisches System des Kranbahnträgers	Spannweite der Kranbahnträger		
		5 m	6 m	7 m
ELK 2t x 18000 mm	1-Feldträger	HEB 180	HEB 200	HEB 220
	2-Feldträger	HEB 160	HEB 180	HEB 200
ELK 5 t x 18000 mm	1-Feldträger	HEB 220	HEB 240	HEB 260
	2-Feldträger	HEB 200	HEB 220	HEB 240
ELK 10 t x 18000 mm	1-Feldträger	HEB 280	HEB 300	HEB 340
	2-Feldträger	HEB 260	HEB 280	HEB 300
ZLK 16 t x 18000 mm	1-Feldträger	HEB 360	HEB 450	HEB 800
	2-Feldträger	HEB 320	HEB 400	HEB 450

Tabelle 24: Erforderliche Kranbahnträgerquerschnitte als HEB-Walzträger in S235

Quelle: Eigene Darstellung

Die Eigengewichte der Rahmenstäbe werden von dem verwendeten Statikprogramm RSTAB 5.14 automatisch berücksichtigt.
In Abbildung 17 ist exemplarisch der Ansatz der Eigengewichte für einen Kranbahnträger HEB 300 als 1-Feldträger mit 6 m Rahmenabstand dargestellt.

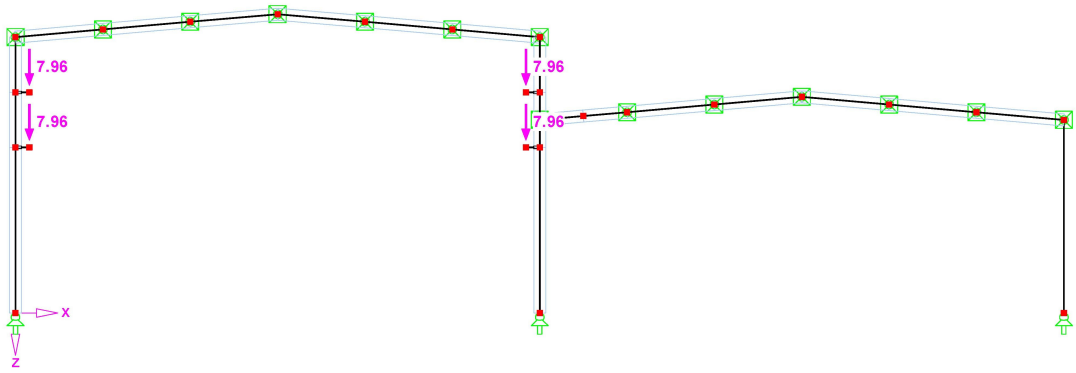


Abbildung 17: Eigengewicht (Kranbahnträger HEB 300 als 1-Feldträger mit 6 m Rahmenabstand)

3.5.2 Windlastannahme

Die Windlastannahme für das Hallentragwerk wird nach DIN 1055-4 mit vereinfachten Böengeschwindigkeitsdrücken für Bauwerke bis 25 m Höhe getroffen.

Für die Windzone 2 (Binnenland) gilt:

- 1. Hallenschiff: 10 m < Firsthöhe h = 10,83 m < 18 m
  Geschwindigkeitsdruck q = 0,8 kN/m²
- 2. Hallenschiff: Firsthöhe h = 7,83 m < 10 m
  Geschwindigkeitsdruck q = 0,65 kN/m²

Für den Ansatz der Innendrücke wird ein Flächenparameter μ zwischen 0,47 und 0,78 angenommen. Die Kräfte infolge Wind auf die Wände sowie der Innendruck werden vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, für beide Hallenschiffe mit dem Böengeschwindigkeitsdruck des 1. Hallenschiffes ermittelt.

Für die Einteilung der Wand- und Dachflächen wird eine Hallenlänge von 60 m zugrunde gelegt. Des weiteren wird im Dach- und Wandbereich eine 3-Feldträgerwirkung der Hüllelemente berücksichtigt.

Nachfolgend sind die berücksichtigten Windlastfälle für einen Rahmenabstand von 6 m dargestellt. Alle weiteren nach DIN 1055-4 vorgeschlagenen Lastfälle wurden überprüft und als nicht bemessungsrelevant eingestuft.

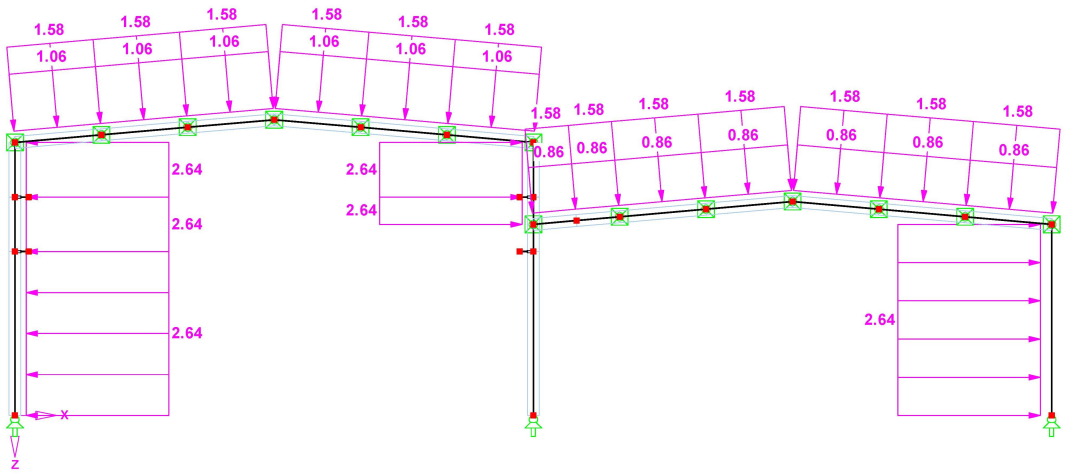


Abbildung 18: Wind θ = 90° mit negativem Innendruck (6 m Rahmenabstand)

Quelle: Eigene Darstellung

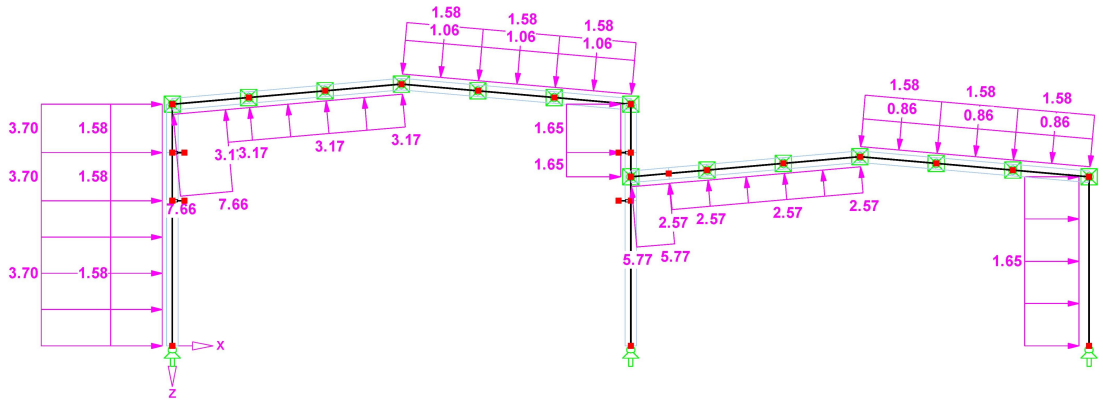


Abbildung 19: Wind θ = 0° von links mit negativem Innendruck (6 m Rahmenabstand)

Quelle: Eigene Darstellung

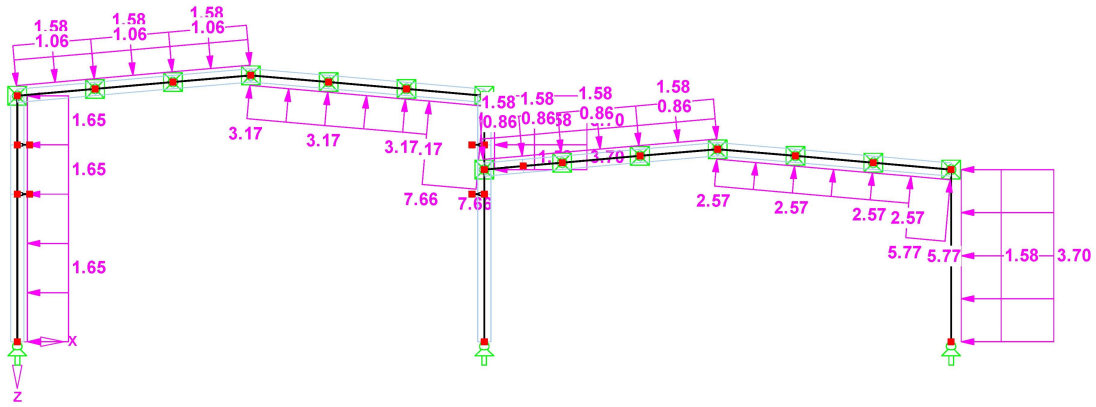


Abbildung 20: Wind θ = 0° von rechts mit negativem Innendruck (6 m Rahmenabstand)

Quelle: Eigene Darstellung

3.5.3 Schneelastannahme

Für die Schneelastzone 2 bis 285 m ü. d. M. wird nach DIN 1055-5 Bild 2 die Schneelast s_k auf den Wert 0,85 kN/m² festgelegt. Die Dachneigung der Satteldächer α = 5° sowie die zusätzliche Belastung des Hallentragwerkes aus Abrutschen und/oder Anwehen von Schnee im Bereich des Höhensprungs zwischen dem 1. und 2. Hallenschiff werden berücksichtigt.

Analog wie bei den Lastannahmen Eigengewicht und Wind wird auch hier eine 3-Feldträgerwirkung der Hüllelemente im Dachbereich berücksichtigt und nachfolgend der Lastfall Schnee für einen Rahmenabstand von 6 m dargestellt.

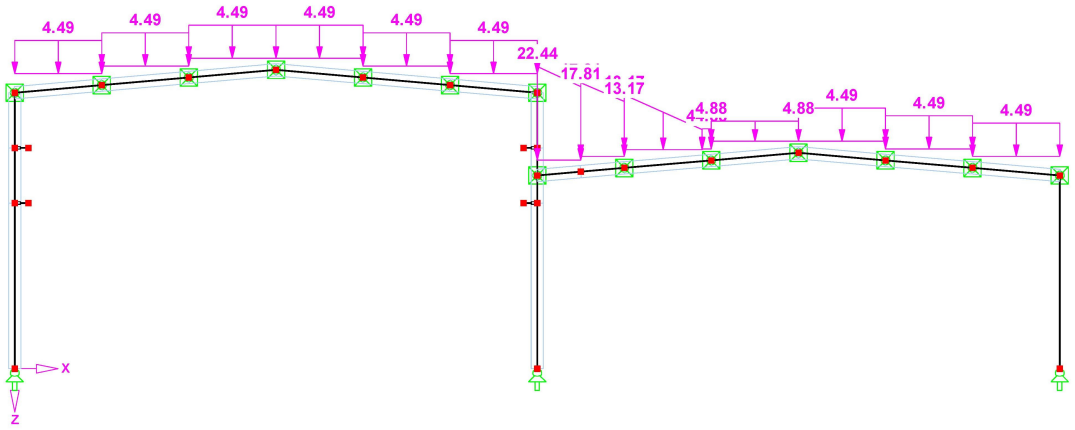


Abbildung 21: Ansatz der Schneelast (6 m Rahmenabstand)

Quelle: Eigene Darstellung

3.5.4 Kräfte infolge Kranbetrieb

Die Kran-Datenblätter der Anlage 1 sind Ausgangspunkt der Berechnung der Einwirkungen der Krane auf den Hallenrahmen. Die anzusetzenden Auflagerkäfte auf die Kranbahnkonsolen sind in Tabelle 25 aufgeführt.

Hierfür wird folgendes erläutert:

– Die Bezeichnungen in der Spalte Typ wird am Beispiel erläutert:

2 t	-	5 m	-	1Feld
Hublast des Kranes: ELK 2 t x 18000 mm	-	Spannweite: 5 m	-	statisches System: Einfeldträger

– „Schräglaufkraft“ bedeutet: Horizontale Seitenlasten und Führungskraft infolge Schräglauf von Kranen

– „Massekraft“ bedeutet: Horizontale Lasten quer zur Fahrbahn aus Beschleunigen und Bremsen von Kranen

Die Pufferkräfte infolge Anprall der Kranbrücke gegen die Endanschläge der Kranbahn zählen zu den außergewöhnlichen Einwirkungen. Sie werden in Tabelle 25 nicht aufgelistet, da sie für die Berechnung des Hallenrahmens als nicht dimensionierend angenommen werden. Daher muss gewährleistet sein, dass die entstehenden Torsionskräfte aus dem außermittigen Lastangriff der Pufferkräfte zur Schwerachse der Rahmenstütze konstruktiv verhindert werden.

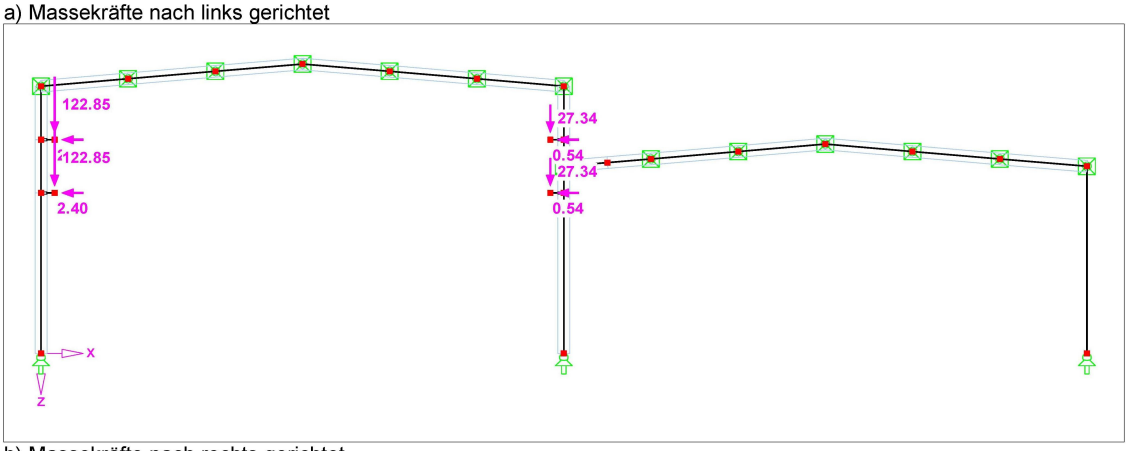
Die Abbildungen 22 und 23 veranschaulichen den Ansatz der Kräfte infolge Kranbetrieb anhand des Kranes ELK 10 t x 18000 mm, gelagert auf einem 2-Feld-Kranbahnträger mit 6 m Spannweite.

			Konsole links / Katze links			Konsole rechts / Katze links		
Typ	Eigengewicht Kranbahn [kN]	Schräglaufkraft [kN]	Radlast φ=1,1 [kN]	Radlast φ=1,0 [kN]	Massekraft [kN]	Radlast φ=1,1 [kN]	Radlast φ=1,0 [kN]	Massekraft [kN]
2t-5m-1Feld	3,34	4,40	26,45	24,04	1,30	10,29	9,35	0,54
2t-5m-2Feld	3,64	4,40	32,51	29,55	0,86	12,55	11,41	0,36
2t-6m-1Feld	4,62	4,40	28,07	25,52	1,08	10,90	9,91	0,45
2t-6m-2Feld	5,02	4,40	33,57	30,52	0,62	12,95	11,78	0,26
2t-7m-1Feld	6,10	4,40	29,23	26,58	0,93	11,34	10,31	0,39
2t-7m-2Feld	6,74	4,40	34,27	31,16	0,47	13,23	12,03	0,19
5t-5m-1Feld	4,36	8,58	52,04	47,31	2,00	13,76	12,51	0,54
5t-5m-2Feld	4,81	8,58	63,93	58,12	1,33	16,89	15,36	0,36
5t-6m-1Feld	5,94	8,58	55,23	50,21	1,67	14,60	13,28	0,45
5t-6m-2Feld	6,54	8,58	66,01	60,01	0,96	17,44	15,86	0,26
5t-7m-1Feld	7,60	8,58	57,51	52,28	1,43	15,21	13,83	0,39
5t-7m-2Feld	8,65	8,58	67,39	61,27	0,72	17,81	16,19	0,19
10t-5m-1Feld	5,94	15,95	96,80	88,00	5,02	21,58	19,62	1,13
10t-5m-2Feld	6,79	15,95	118,96	108,14	3,34	26,48	24,08	0,75
10t-6m-1Feld	7,96	15,95	102,74	93,40	4,19	22,90	20,82	0,95
10t-6m-2Feld	8,91	15,95	122,85	111,68	2,40	27,34	24,86	0,54
10t-7m-1Feld	10,48	15,95	106,98	97,26	3,59	23,83	21,67	0,81
10t-7m-2Feld	11,62	15,95	125,42	114,02	1,81	27,92	25,38	0,41
16t-5m-1Feld	7,88	26,29	157,96	143,60	7,62	35,13	31,93	1,68
16t-5m-2Feld	8,90	26,29	195,29	177,53	5,20	43,36	39,42	1,15
16t-6m-1Feld	11,20	26,29	168,14	152,85	6,35	37,38	33,98	1,40
16t-6m-2Feld	12,82	26,29	201,94	183,58	3,75	44,83	40,75	0,83
16t-7m-1Feld	19,46	26,29	175,40	159,46	5,44	38,99	35,44	1,20
16t-7m-2Feld	16,35	26,29	206,75	187,95	2,83	45,90	41,73	0,62

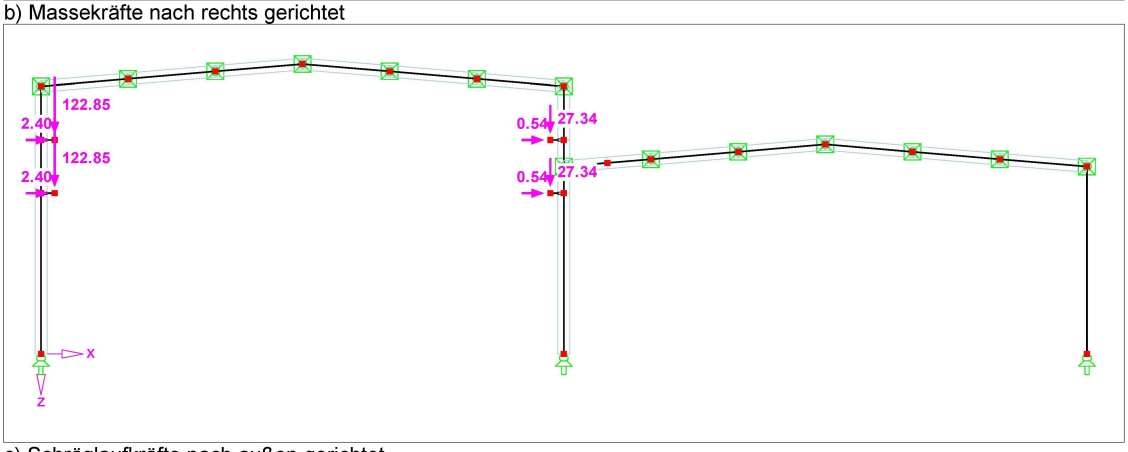
Tabelle 25: Kräfte infolge Kranbetrieb

Quelle: Eigene Darstellung

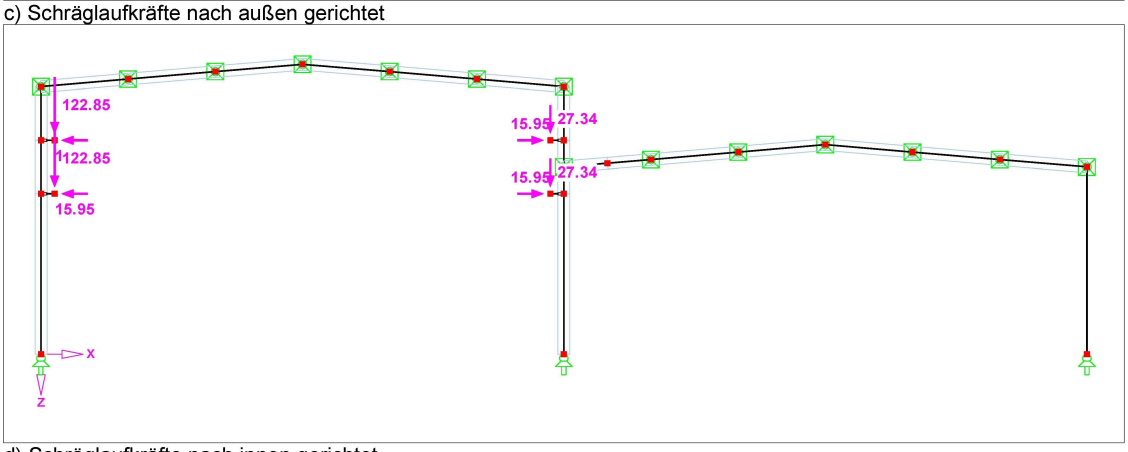
a) Massekräfte nach links gerichtet



b) Massekräfte nach rechts gerichtet



c) Schräglaufkräfte nach außen gerichtet



d) Schräglaufkräfte nach innen gerichtet

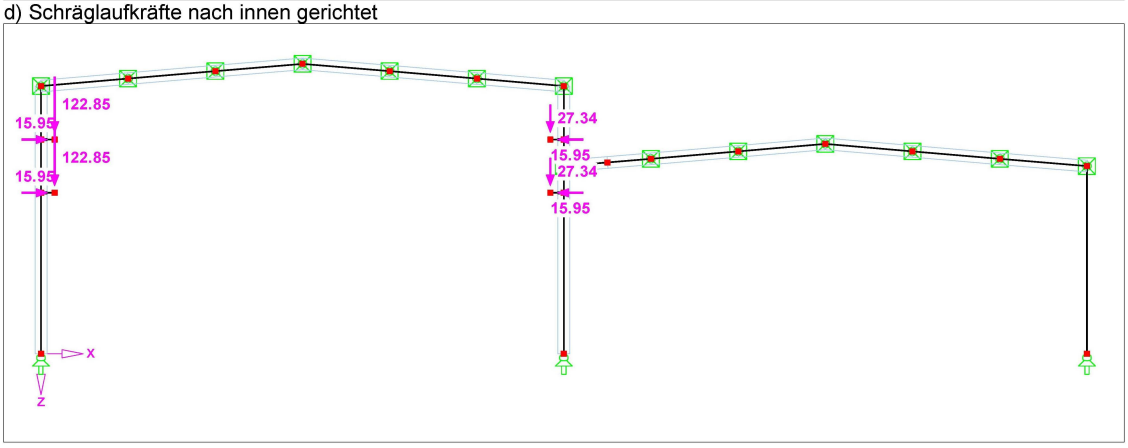
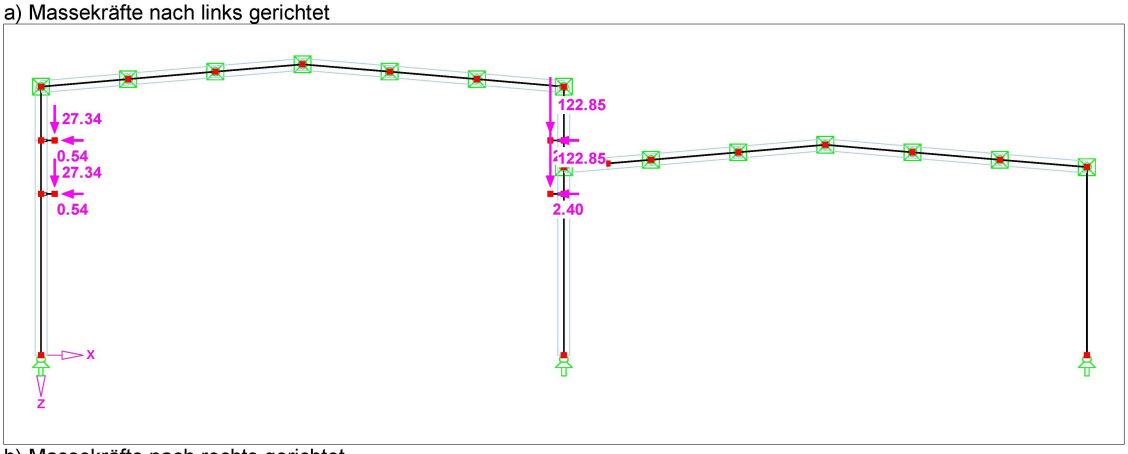


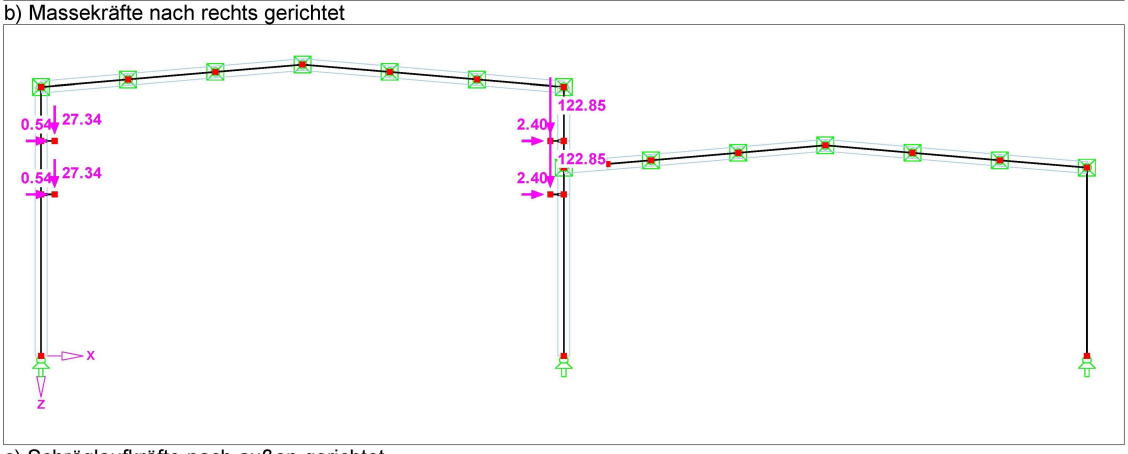
Abbildung 22: Ansatz der Auflagereaktionen des Typs 10t-6m-2Feld mit linker Katzstellung

Quelle: Eigene Darstellung

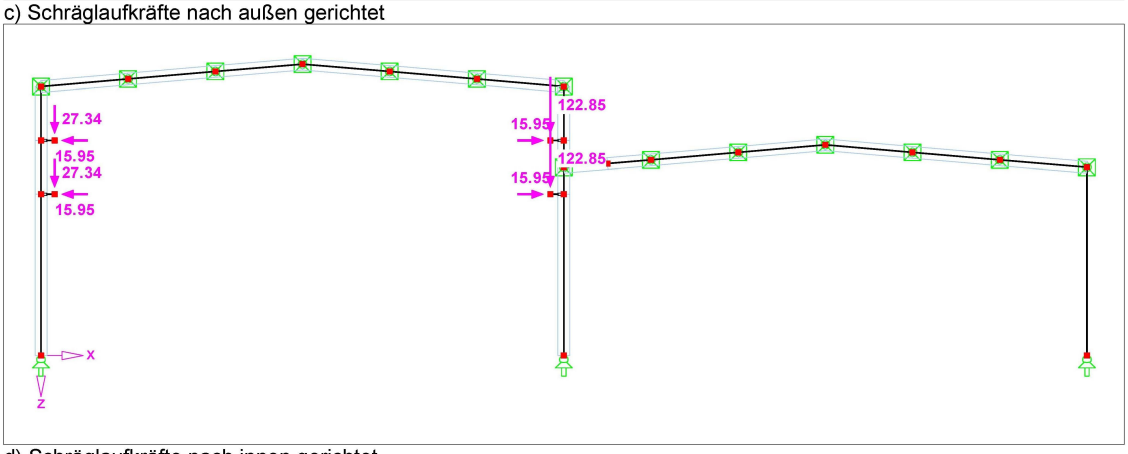
a) Massekräfte nach links gerichtet



b) Massekräfte nach rechts gerichtet



c) Schräglaufkräfte nach außen gerichtet



d) Schräglaufkräfte nach innen gerichtet

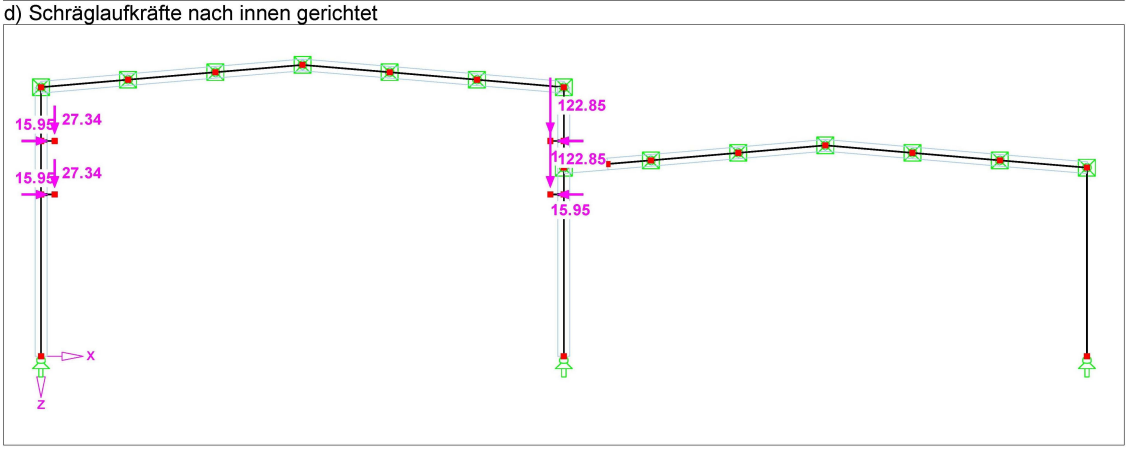


Abbildung 23: Ansatz der Auflagereaktionen des Typs 10t-6m-2Feld mit rechter Katzstellung

Quelle: Eigene Darstellung

3.6 Einwirkungskombinationen

Die Einwirkungskombinationen für den Rahmen der zweischiffigen Halle werden aus nachfolgenden Lastfällen LF gebildet:

– ständige Lasten:

LF 1 Eigengewichte aus Dachaufbau, Rahmenquerschnitte und Kranbahnträger

– veränderliche Lasten:

LF 2 Schneelast (Volle Schneelast auf die gesamte Dachfläche)

LF 3 Windlast Anströmrichtung 90° (Winddruck auf Dachfläche; Bereich I)

LF 4 Windlast Anströmrichtung 0° (Winddruck auf die linke Außenwand)

LF 5 Windlast Anströmrichtung 0° (Winddruck auf die rechte Außenwand)

LF 6 Negativer Innendruck

LF 7 Radlasten, linke Katzstellung und nach links gerichteten Massekräften

LF 8 Radlasten, linke Katzstellung und nach rechts gerichteten Massekräften

LF 9 Radlasten, linke Katzstellung und nach außen gerichteten Schräglaufkräften

LF 10 Radlasten, linke Katzstellung und nach innen gerichteten Schräglaufkräften

LF 11 Radlasten, rechte Katzstellung und nach links gerichteten Massekräften

LF 12 Radlasten, rechte Katzstellung und nach rechts gerichteten Massekräften

LF 13 Radlasten, rechte Katzstellung und nach außen gerichteten Schräglaufkräften

LF 14 Radlasten, rechte Katzstellung und nach innen gerichteten Schräglaufkräften

LF 15 und Folgende Imperfektionen: Schiefstellungen und Vorkrümmungen gemäß DIN 18800-2 Kap. 2 in Richtung der Verformungsfiguren der maßgebenden Lastfallgruppen im Spannungsnachweis

Alle weiteren Lastfälle, wie z.B. der Ansatz der Schneelast nach DIN 1055-5 Kap. 4.2.3 Lastbilder b) und c), oder die Windlastfälle unter Berücksichtigung der Sogkräfte im Dachbereich wurden für die Rahmenberechnungen berücksichtigt. Für die Bemessung der Rahmen werden diese Lastfälle jedoch nicht maßgebend. Aus diesem Grund wird auf ihre Auflistung verzichtet.

Die oben nummerierten Lastfälle werden für die Tragsicherheitsnachweise zu Lastfallgruppen nach DIN 18800-1 Kap. 7.2.2 zusammengefasst. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden zum einen für den Nachweis der Stützenschiefstellung mit den Kombinationsregeln nach EC 3-6 Kap. 7 (DIN EN 1993-6) geführt. Zum anderen wird für den Nachweis der Durchbiegung des Rahmenriegels die Lastfallgruppen der Tragsicherheitsnachweise verwendet, wobei die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_F = \psi = 1{,}0$ festgelegt werden.

Nachfolgende Lastfallgruppen (LG´s) sind für die Berechnung der Rahmenquerschnitte zu untersuchen:

– Lastfallgruppen für die Tragsicherheitsnachweise:

LG 1 1,35 LF 1 + 1,5 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) / 2]
LG 2 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6)]
LG 3 1,35 LF 1 + 1,5 [LF 2 + (LF 4 + LF 6) / 2]
LG 4 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 4 + LF 6)]
LG 5 1,35 LF 1 + 1,5 [LF 2 + (LF 5 + LF 6) / 2]
LG 6 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 5 + LF 6)]
LG 7 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 7]
LG 8 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 8]
LG 9 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 9]
LG 10 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 10]
LG 11 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 11]
LG 12 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 12]
LG 13 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 13]
LG 14 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 3 + LF 6) + LF 14]
LG 15 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 4 + LF 6) + LF 7]
LG 16 …
LG 30 1,35 LF 1 + 1,5 * 0,9 [LF 2 + (LF 5 + LF 6) + LF 14]

Zu den Lastfallgruppen, die für den Spannungsnachweis maßgebend werden, ist der Lastfall „LF 11 und Folgende“ zu addieren, um den Biegeknicknachweis, als Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordung zu führen.

– Lastfallgruppen für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis:

LG 31 LF 1 + LF 7 mit $\varphi = 1{,}0$
LG 32 LF 1 + LF 8 mit $\varphi = 1{,}0$
LG 33 LF 1 + LF 9 mit $\varphi = 1{,}0$
LG 34 LF 1 + LF 10 mit $\varphi = 1{,}0$
LG 35 Die Lastfallgruppe des Tragsicherheitsnachweises, bei der die Verformung in z-Richtung von einem der beiden Rahmenriegel den Maximalwert annimmt, wird mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_F = \psi = 1{,}0$ und mit $\varphi = 1{,}0$ in diesem Lastfall untersucht.

3.7 Erforderliche Rahmenquerschnitte in Abhängigkeit unterschiedlicher Kran-Kombinationen und Rahmenabständen

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Krane auf auf den Stahlbedarf des Hallentragwerkes untersucht. Die erforderlichen Querschnitte für den Hallenrahmen und die Kranbahnkonsolen werden für die unterschiedlichen Kran-Kombinationen und Rahmenabstände ermittelt.

Festgelegt ist, dass die Rahmenriegel aus IPE-Walzprofilen (DIN EN 10034), die Rahmenstützen sowie die Kranbahnkonsolen aus HEA-Walzprofilen (DIN EN 10034) in der Stahlsorte S235 (DIN EN 10025-2) bestehen. Bemessungsgrundlage ist die Normenreihe DIN 18800. Grenzwerte für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis werden zum einen für die Durchbiegungsbeschränkung der Rahmenriegel aus der DIN 18807-3, zum anderen für die Begrenzung der horizontalen Stützenverschiebung bei Kranbetrieb aus der DIN EN 1993-6/NA entnommen. Aufgrund der Annahme eines bituminös verklebten Dachaufbaus gilt für die Rahmenriegel eine Durchbiegungsbeschränkung von l/300. Die Stützenverschiebung wird auf grenz δ_y = h/300 in Höhe der Kranbahnkonsolen beschränkt, da die zu berücksichtigenden Brückenlaufkrane in die Hubklasse H2 eingestuft sind.
Im Kapitel 3.5.4 sind die Kräfte infolge Kranbetrieb auf das Rahmentragwerk sowohl für das System Einfeldträger- als auch Zweifeldträger-Kranbahn aufgelistet. Beim Vergleich der erforderlichen Rahmenquerschnitte zeigt sich, dass die größeren vertikalen Kräfte infolge der Radlasten beim System Zweifeldträger-Kranbahn im Vergleich zum System Einfeldträger-Kranbahn zu keinen größeren Rahmenquerschnitten führen. Lediglich müssen die Kranbahnträgerkonsolen verstärkt werden. Unter dem Gesichtspunkt Materialeinsparung ist es demnach sinnvoll, die Kranbahn aus Zweifeldträgern zu konstruieren. Hierdurch begründet, wird in den nachfolgenden Tabellen und Diagrammen ausschließlich der Stahlbedarf für die Annahme einer Zweifeldträger-Kranbahn aufgelistet. Des weiteren wird darauf hingewiesen, dass – wie in Kapitel 3.3 festgelegt – der Kran mit der größeren Hublast immer unterhalb des Kranes mit der kleineren Hublast angeordnet ist.

In Tabelle 26 wird der Einfluss der Krane auf den Stahlbedarf für die 60 m lange zweischiffige Halle unter der Annahme aufgezeigt, dass alle Rahmen als Normalrahmen ausgeführt werden. Für die Berechnung des Stahlbedarfes sind die Eigengewichte der Rahmen, Konsolen und Kranbahnträger berücksichtigt. Jedoch wird das Eigengewicht der erforderlichen Vouten ignoriert.

Kranbetrieb	Rahmenabstand 5 m		Rahmenabstand 6 m		Rahmenabstand 7 m	
	Stahlbedarf [t]	Vergleich in %	Stahlbedarf [t]	Vergleich in %	Stahlbedarf [t]	Vergleich in %
ohne Kranbetrieb	90 t	100 %	82 t	100 %	77 t	100 %
ELK 2 t x 18000 mm ELK 2 t x 18000 mm	102 t	114 %	96 t	117 %	94 t	122 %
ELK 2 t x 18000 mm ELK 5 t x 18000 mm	105 t	117 %	99 t	121 %	97 t	126 %
ELK 5 t x 18000 mm ELK 5 t x 18000 mm	109 t	121 %	102 t	125 %	100 t	130 %
ELK 2 t x 18000 mm ELK 10 t x 18000 mm	111 t	123 %	104 t	127 %	104 t	135 %
ELK 5 t x 18000 mm ELK 10 t x 18000 mm	113 t	126 %	106 t	130 %	107 t	139 %
ELK 2 t x 18000 mm ZLK 16 t x 18000 mm	117 t	130 %	112 t	137 %	113 t	146 %
ELK 10 t x 18000 mm ELK 10 t x 18000 mm	119 t	132 %	112 t	137 %	113 t	147 %
ELK 5 t x 18000 mm ZLK 16 t x 18000 mm	122 t	135 %	114 t	140 %	116 t	150 %
ELK 10 t x 18000 mm ZLK 16 t x 18000 mm	131 t	145 %	120 t	147 %	121 t	157 %
ZLK 16 t x 18000 mm ZLK 16 t x 18000 mm	139 t	154 %	129 t	158 %	131 t	170 %

Tabelle 26: Einfluss der Krane auf den Stahlbedarf bezogen auf 60 m bzw. 63 m Hallenlänge

Quelle: Eigene Darstellung

Die erforderlichen Rahmenquerschnitte und Kranbahnträgerkonsolen sowie das Eigengewicht eines Rahmens mit Konsolen sind in den Tabellen 27 bis 37 aufgeführt. Unterhalb jeder dieser Tabellen befindet sich das zugehörige Diagramm, welches den Stahlbedarf für die unterschiedlichen Rahmenabstände bei steigender Hallenlänge von 15 m bis 105 m zeigt – unter der Annahme, dass alle Rahmen als Normalrahmen ausgeführt werden. Bei der Erstellung der Diagramme wurde neben dem Eigengewicht der Rahmen und Konsolen, auch das Eigengewicht der Kranbahnträger gemäß Tabelle 25 berücksichtigt. Allerdings bleibt das Eigengewicht der erforderlichen Vouten unberücksichtigt.

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	360	550	360	550	320	-	-	6,94
6 m	400	550	450	550	360	-	-	7,44
7 m	400	600	400	Voute 550	400	-	-	7,71

Tabelle 27: Erforderliche Rahmenquerschnitte – ohne Kranbetrieb
Quelle: Eigene Darstellung

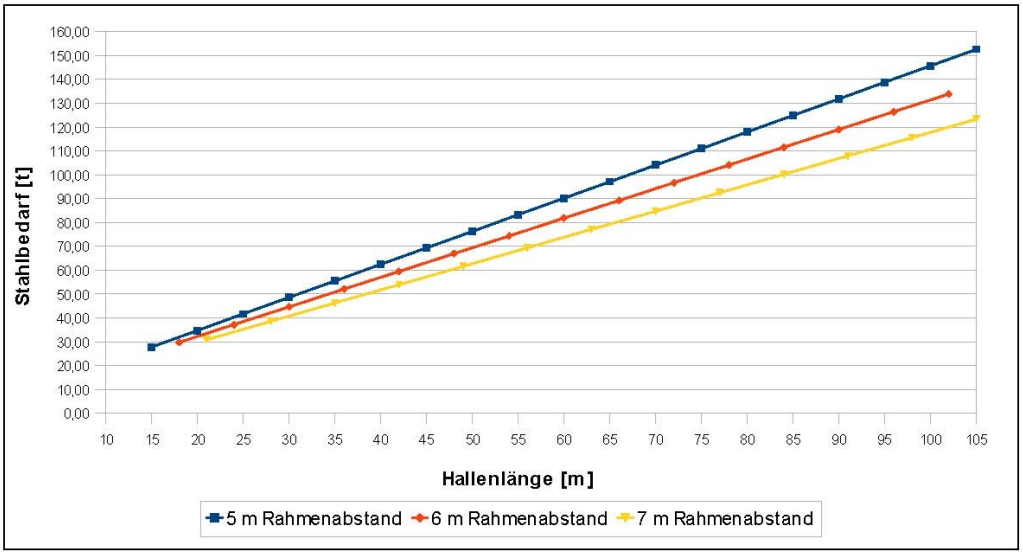


Abbildung 24: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – ohne Kranbetrieb
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	360	550	400	550	320	120	120	7,09
6 m	450	550	450	550	360	140	140	7,62
7 m	400	600	450	Voute/550	400	140	140	7,89

Tabelle 28: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit 2 x ELK 2 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

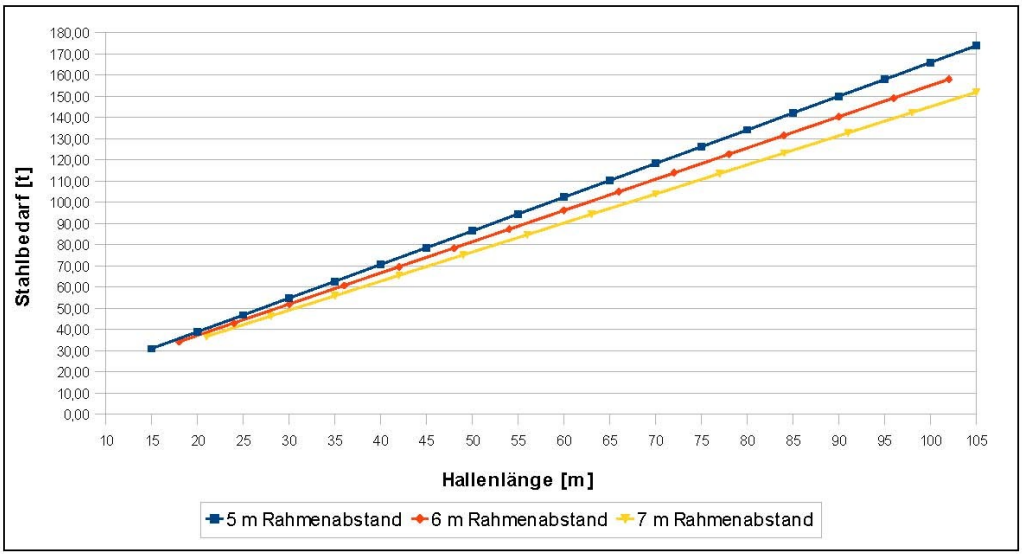


Abbildung 25: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit 2 x ELK 2 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	360	550	400	550	340	180	120	7,15
6 m	450	550	450	550	360	200	140	7,63
7 m	400	600	450	Voute/550	400	200	140	7,90

Tabelle 29: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ELK 5 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

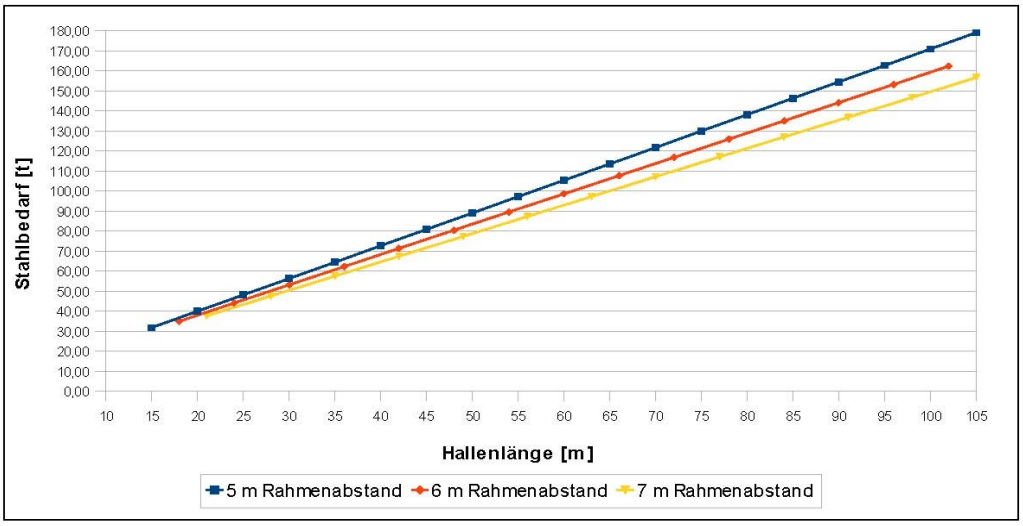


Abbildung 26: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ELK 5 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	400	550	400	550	340	260	120	7,29
6 m	450	550	450	Voute/550	400	280	140	7,74
7 m	450	600	450	Voute/550	450	280	140	8,17

Tabelle 30: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ELK 10 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

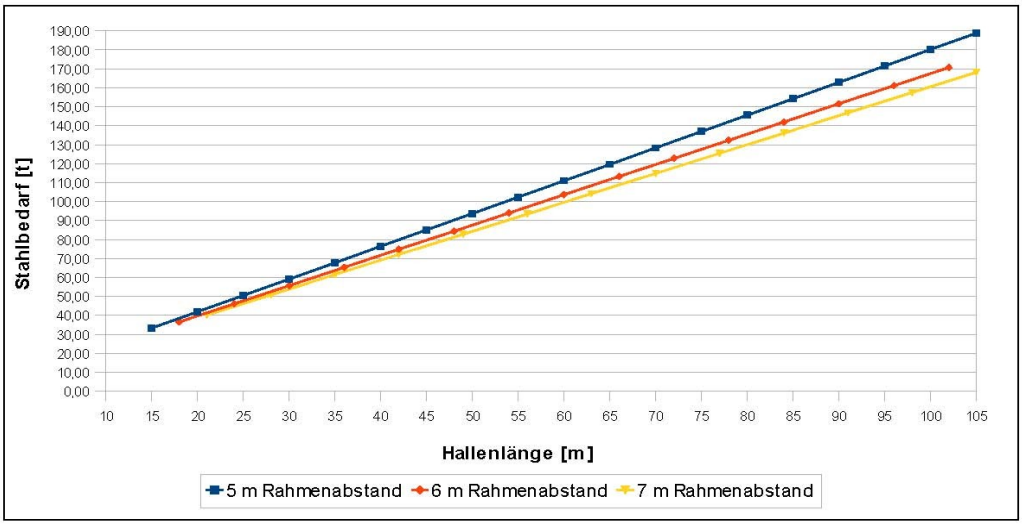


Abbildung 27: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ELK 10 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	400	550	450	550	340	340	120	7,46
6 m	450	550	500	Voute/550	400	340	140	7,91
7 m	500	600	450	Voute/550	450	360	140	8,35

Tabelle 31: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

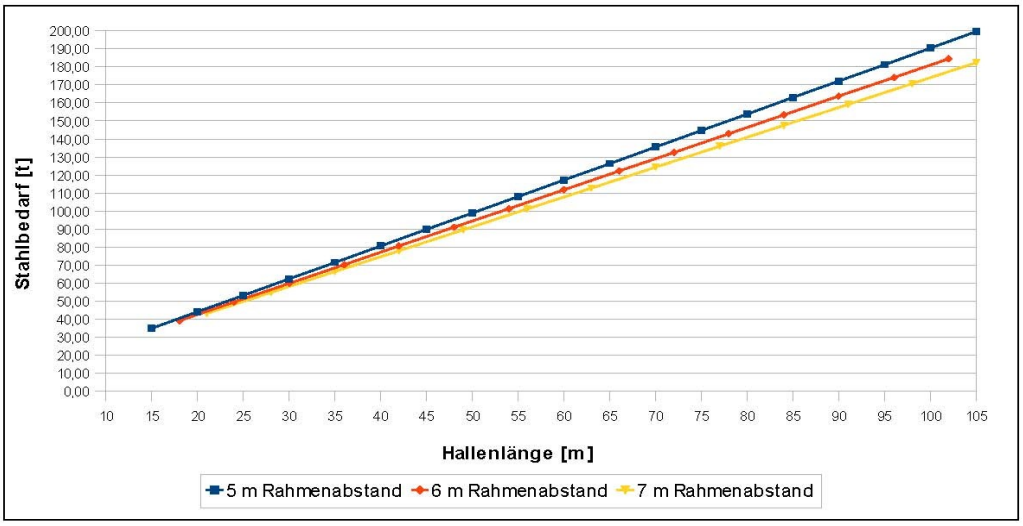


Abbildung 28: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 2 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	400	550	400	550	340	180	180	7,28
6 m	450	550	450	550	400	200	200	7,73
7 m	400	600	450	Voute/550	400	200	200	7,91

Tabelle 32: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit 2 x ELK 5 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

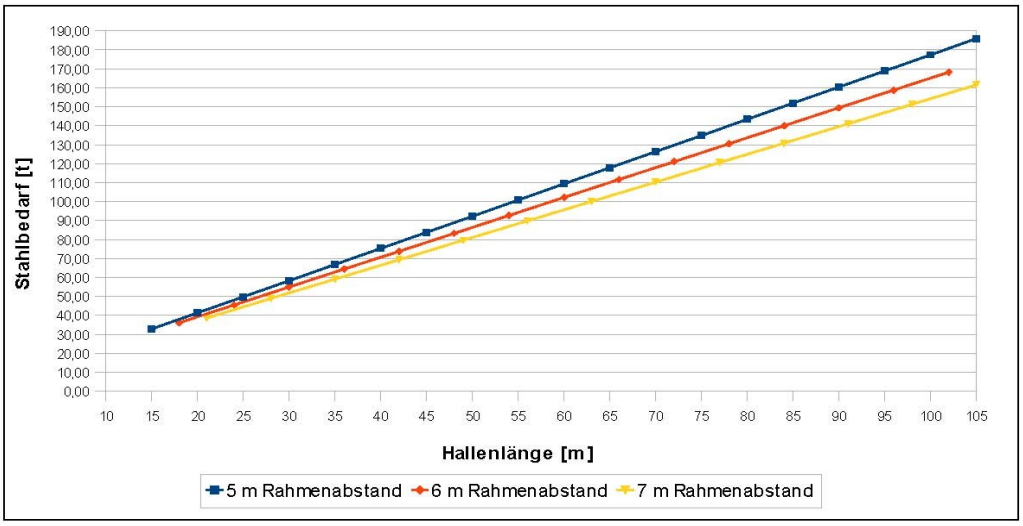


Abbildung 29: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit 2 x ELK 5 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	400	550	400	550	340	260	180	7,3
6 m	450	550	450	Voute/550	400	280	200	7,75
7 m	450	600	450	Voute/550/Voute	450	280	200	8,18

Tabelle 33: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 5 t x 18000 mm und ELK 10 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

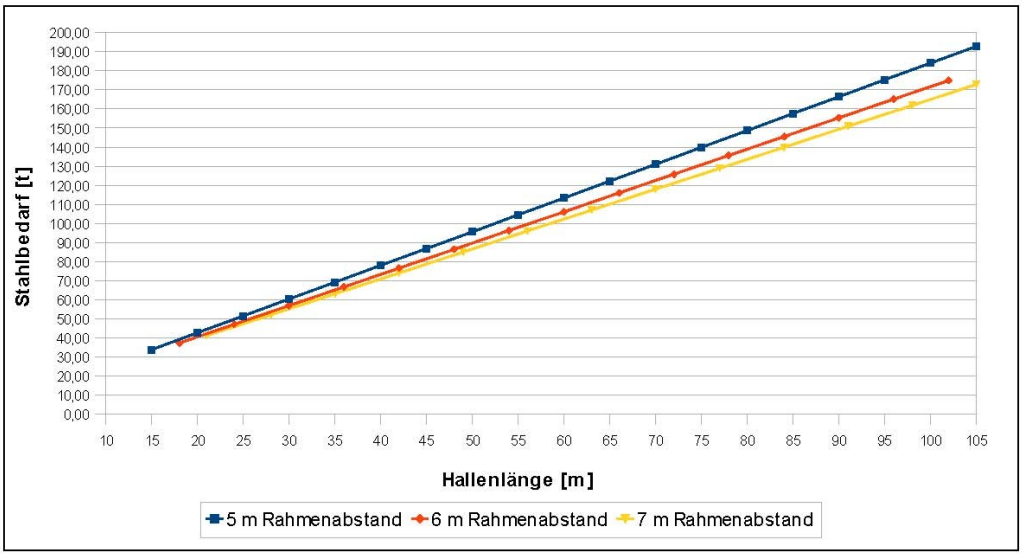


Abbildung 30: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 5 t x 18000 mm und ELK 10 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	450	550	450	550	340	340	180	7,62
6 m	450	550	500	Voute/550	400	340	200	7,92
7 m	500	600	450	Voute/550/Voute	450	360	200	8,36

Tabelle 34: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 5 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

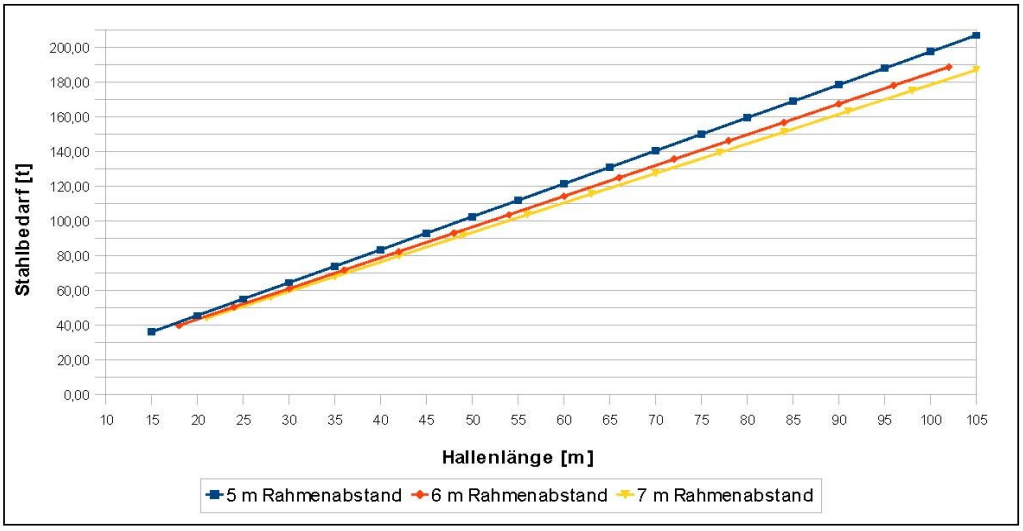


Abbildung 31: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 5 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	400	550	450	550	340	260	260	7,47
6 m	450	550	500	Voute/550	400	280	280	7,92
7 m	500	600	450	Voute/550/Voute	450	280	280	8,36

Tabelle 35: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit 2 x ELK 10 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

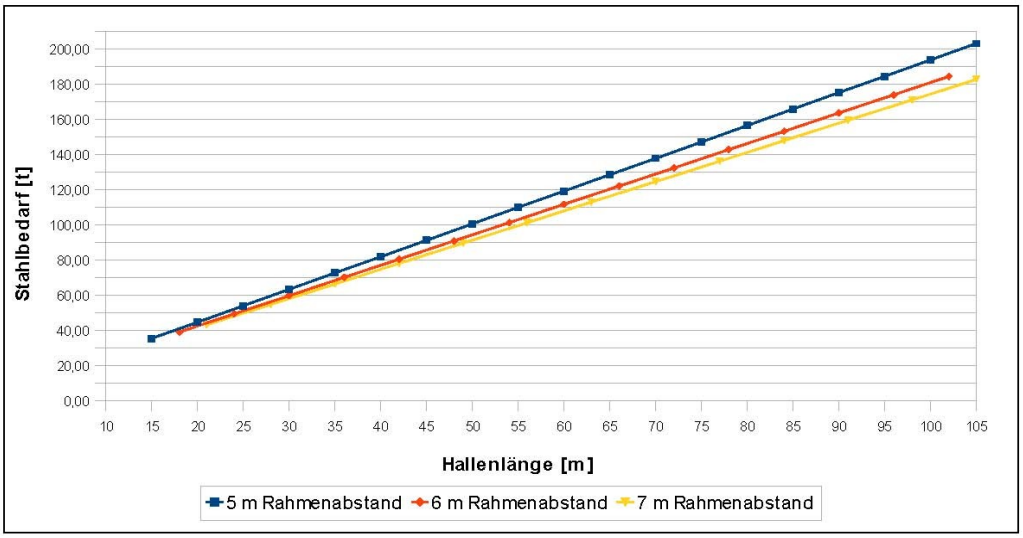


Abbildung 32: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit 2 x ELK 10 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	500	550	550	550	340	340	260	8,06
6 m	500	550	500	Voute/550	400	340	280	8,1
7 m	550	600	450	Voute/550/Voute	450	360	280	8,49

Tabelle 36: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit ELK 10 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

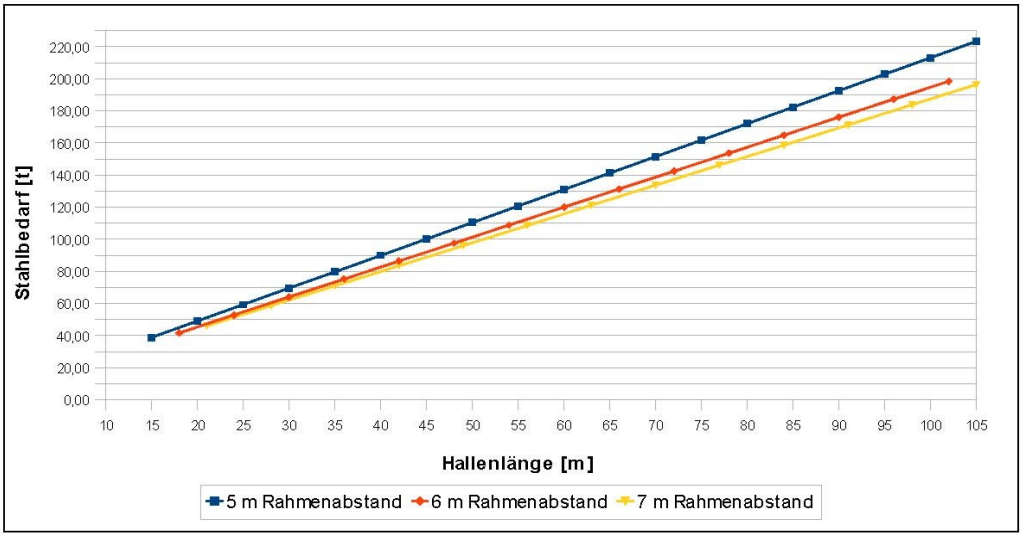


Abbildung 33: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit ELK 10 t x 18000 mm und ZLK 16 t x 18000 mm

Quelle: Eigene Darstellung

Rahmen-abstand	Rahmenquerschnitte					Kranbahnträgerkonsolen		Eigengewicht eines Rahmens [t]
	linke Stütze	1. Riegel	mittlere Stütze	2. Riegel	rechte Stütze	1. Konsole	2. Konsole	
	HEA	IPE	HEA	IPE	HEA	HEA	HEA	
5 m	550	550	550	Voute/550	400	340	340	8,33
6 m	550	550/Voute	550	Voute/550	400	340	340	8,33
7 m	600	600	500	Voute/550/Voute	450	360	360	8,77

Tabelle 37: Erforderliche Rahmenquerschnitte – Kranbetrieb mit 2 x ZLK 16 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

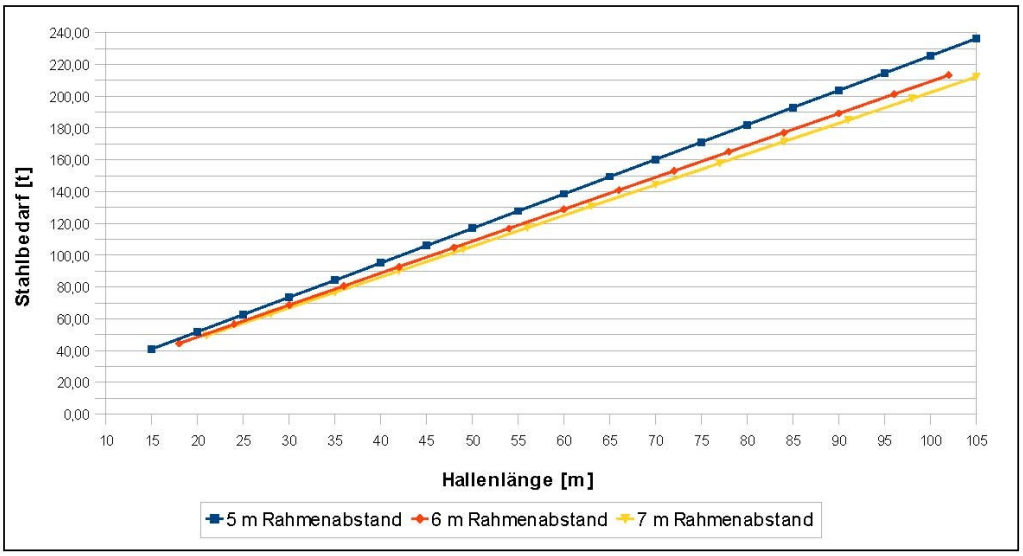


Abbildung 34: Stahlbedarf in Abhängigkeit der Hallenlänge – Kranbetrieb mit 2 x ZLK 16 t x 18000 mm
Quelle: Eigene Darstellung

4 Fazit

In dieser Arbeit ist eine zweischiffige Industriehalle aus Stahl mit zwei übereinander angeordneten Brückenlaufkranen untersucht worden. Die Hallenabmessungen von 60 m Länge und 2 x 19 m Breite wurden für die Lastannahmen als konstant angenommen, wohingegen die Rahmenabstände und die Traglasten der Krane variierten.

Festzuhalten ist, dass aus statischer Sicht die Einwirkungen auf die Rahmenriegel von Pfettendächern idealisiert als Streckenlasten angesetzt werden können, mit ausreichender Genauigkeit für die Schnittgrößenermittlung. Somit kann die aufwendige Umrechnung der Flächenlasten aus z.B. Windeinwirkung zu Einzellasten, auf die Lagerstellen der Pfetten auf dem Rahmenriegel, erspart bleiben.

Für das vorgestellte Hallentragwerk kann des weiteren auf den Ansatz der Normalkräfte auf den Hallenrahmen infolge Verbandswirkung verzichtet werden, da diese keinen nennenswerten Einfluss auf die Auslastung der Rahmenquerschnitte haben. Konstruktiv, unter dem Gesichtspunkt der Materialeinsparung (wirtschaftlicher Aspekt), wurde das Hallentragwerk als „3-stieliger Rahmen“ ausgebildet. Außerdem erfolgte die Anordnung des Kranes mit der größeren Tragkraft unterhalb des Kranes mit der kleineren Tragkraft. Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Kranbahnträger der zweischiffigen

Halle als Zweifeldträger auszubilden.

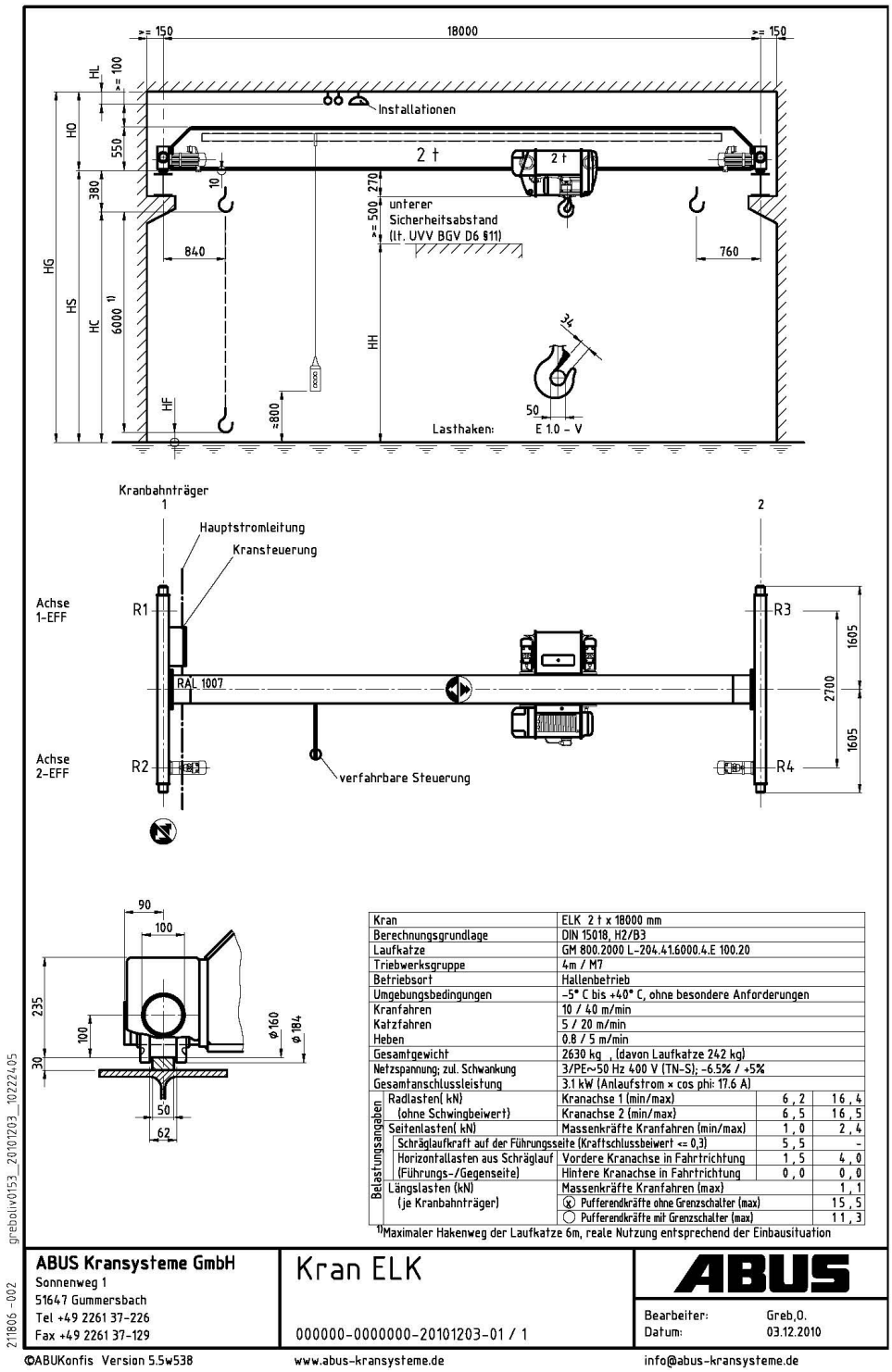
Den Abbildungen 24 bis 34 ist zu entnehmen, dass für das Hallentragwerk ein Rahmenabstand von 5 m zum größten Stahlbedarf für die Haupttragelemente führt, wohingegen ein Rahmenabstand von 7 m für alle untersuchten Kran-Kombinationen und Hallenlängen den geringsten Stahlbedarf für die Haupttragelemente erfordert. Mit steigender Traglast der Krane nähert sich der Stahlbedarf für 6 m Rahmenabstand dem des 7 m Rahmenabstandes an.

Abschließend bleibt anzumerken, dass für eine kostengünstige Konstruktion neben dem Stahlbedarf für die Haupttragelemente auch die Kosten für die Hüllkonstruktion, Fertigungs- und Montagekosten berücksichtigt werden müssen.

Anlageverzeichnis

Anlage 1

Kran-Datenblätter (ABUS)



Kran	ELK 2 t x 18000 mm		
Berechnungsgrundlage	DIN 15018, H2/B3		
Laufkatze	GM 800.2000 L-204.41.6000.4.E 100.20		
Triebwerksgruppe	4m / M7		
Betriebsort	Hallenbetrieb		
Umgebungsbedingungen	-5° C bis +40° C, ohne besondere Anforderungen		
Kranfahren	10 / 40 m/min		
Katzfahren	5 / 20 m/min		
Heben	0.8 / 5 m/min		
Gesamtgewicht	2630 kg , (davon Laufkatze 242 kg)		
Netzspannung; zul. Schwankung	3/PE~50 Hz 400 V (TN-S); -6.5% / +5%		
Gesamtanschlussleistung	3.1 kW (Anlaufstrom × cos phi: 17.6 A)		
Belastungsangaben: Radlasten(kN) (ohne Schwingbeiwert)	Kranachse 1 (min/max)	6 , 2	16 , 4
	Kranachse 2 (min/max)	6 , 5	16 , 5
Seitenlasten(kN)	Massenkräfte Kranfahren (min/max)	1 , 0	2 , 4
Schräglaufkraft auf der Führungsseite (Kraftschlussbeiwert <= 0,3)		5 , 5	-
Horizontallasten aus Schräglauf (Führungs-/Gegenseite)	Vordere Kranachse in Fahrtrichtung	1 , 5	4 , 0
	Hintere Kranachse in Fahrtrichtung	0 , 0	0 , 0
Längslasten (kN) (je Kranbahnträger)	Massenkräfte Kranfahren (max)		1 , 1
	⊗ Pufferendkräfte ohne Grenzschalter (max)		15 , 5
	○ Pufferendkräfte mit Grenzschalter (max)		11 , 3

[1] Maximaler Hakenweg der Laufkatze 6m, reale Nutzung entsprechend der Einbausituation

Abbildung 35: Kran-Datenblatt – ELK 2t x 18000 mm

Quelle: ABUS Kransysteme GmbH, Gummersbach

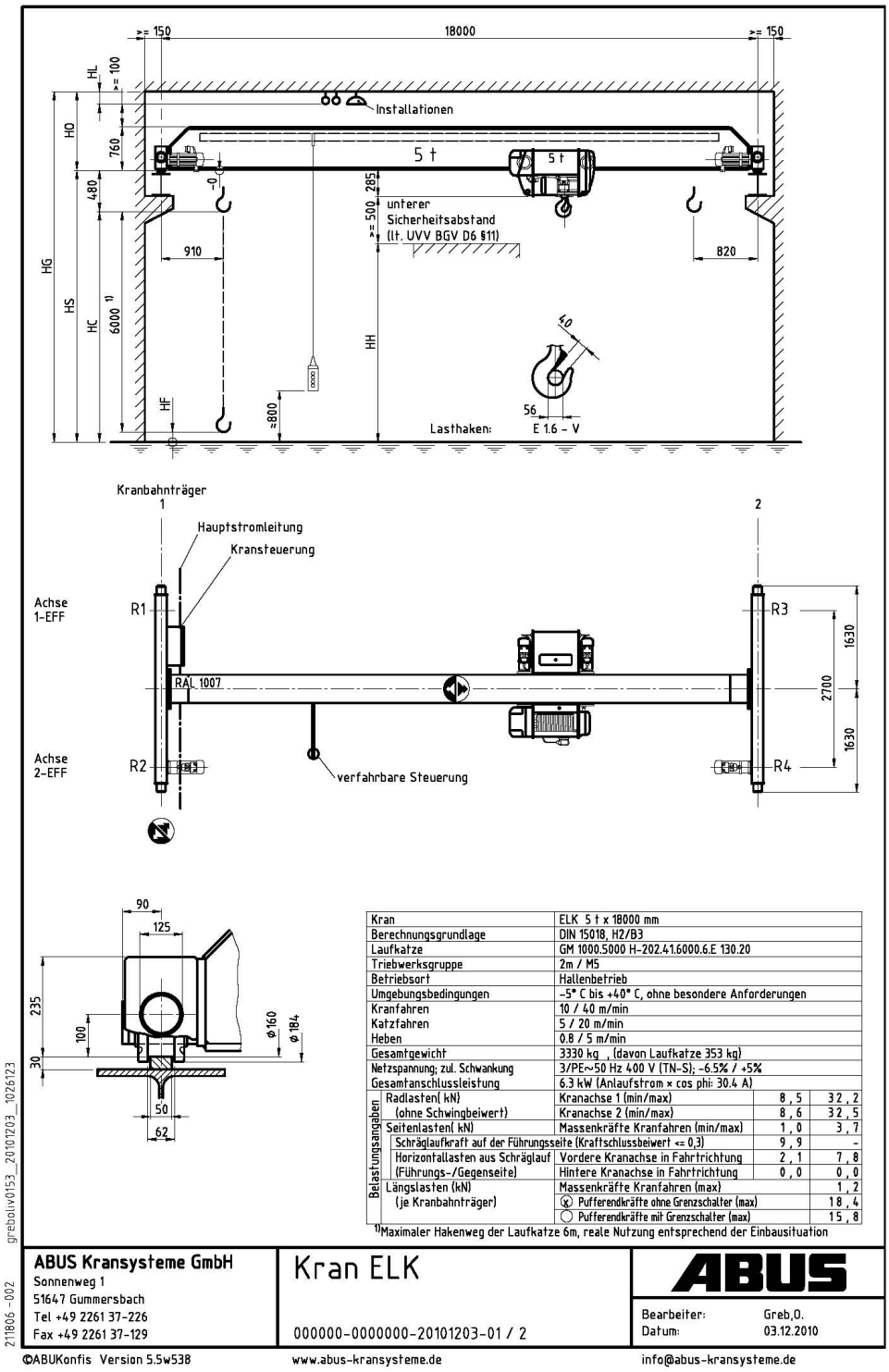


Abbildung 36: Kran-Datenblatt – ELK 5t x 18000 mm

Quelle: ABUS Kransysteme GmbH, Gummersbach

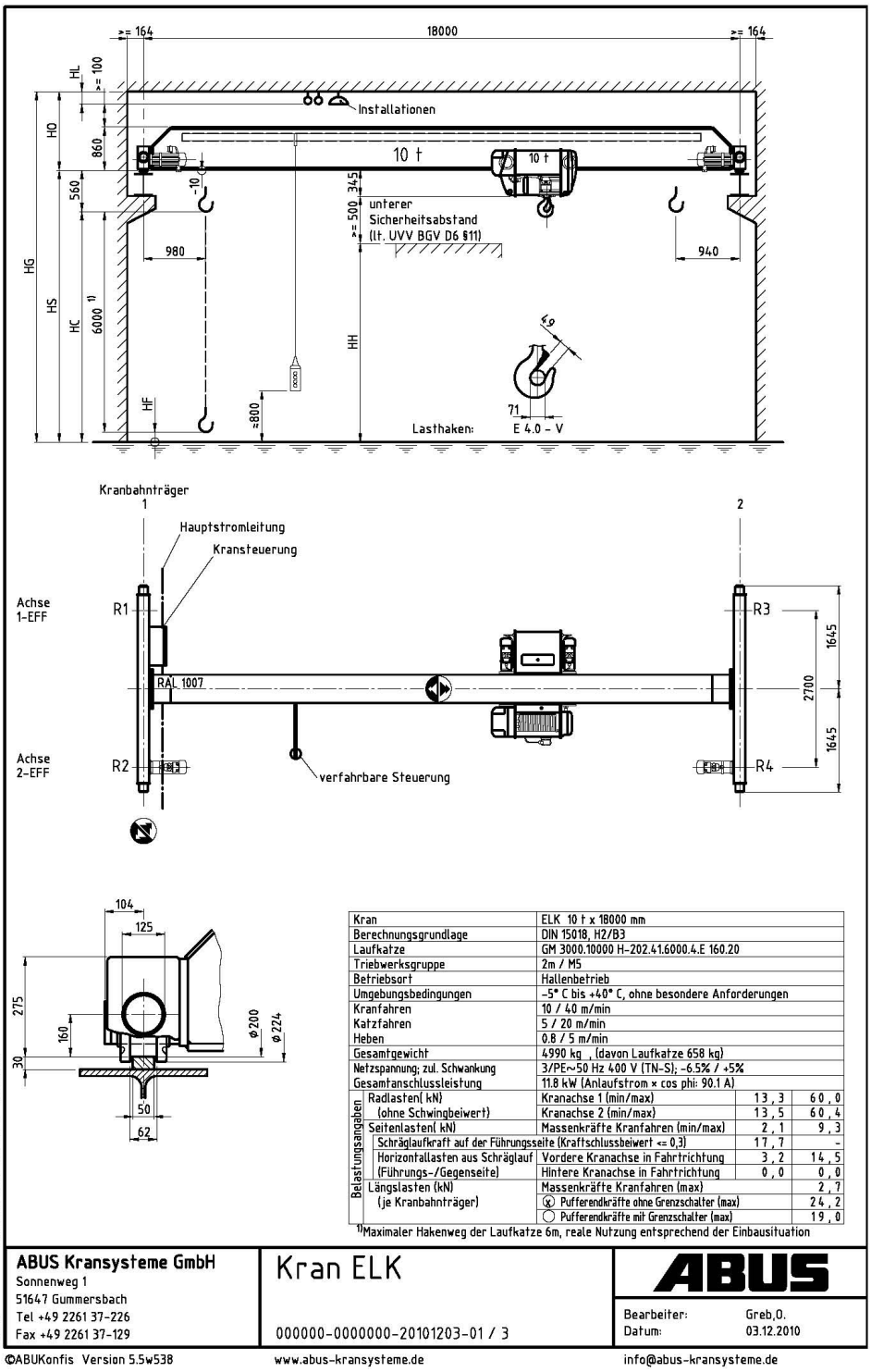


Abbildung 37: Kran-Datenblatt – ELK 10t x 18000 mm

Quelle: ABUS Kransysteme GmbH, Gummersbach

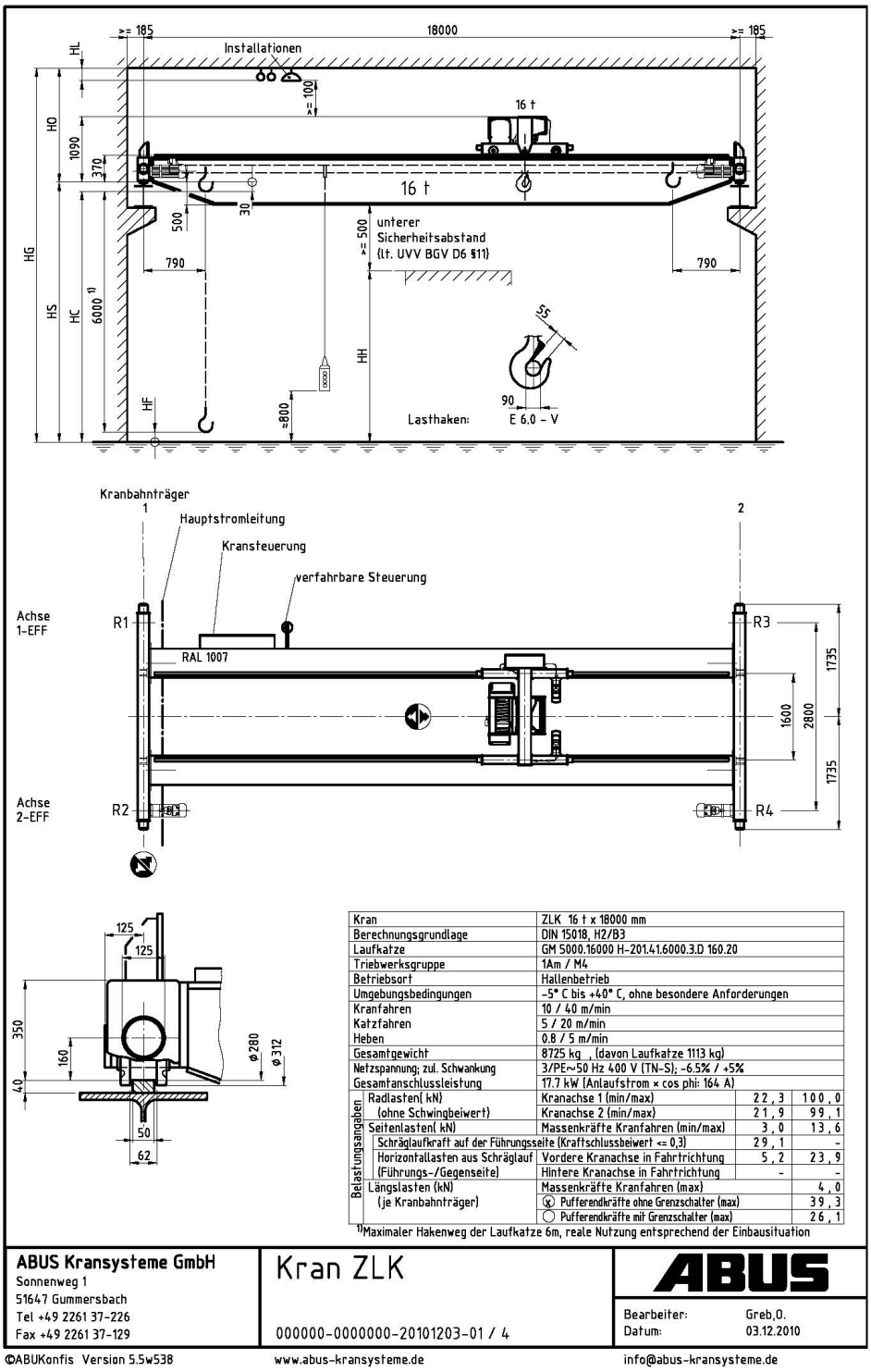


Abbildung 38: Kran-Datenblatt – ZLK 16t x 18000 mm

Quelle: ABUS Kransysteme GmbH, Gummersbach

Anlage 2

Komplexbeispiel einer zweischiffige Industriehalle aus Stahl

mit zwei übereinander angeordneten Kranen

Anlage 2 - Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Baubeschreibung

Bauvorhaben:	Zweischiffige Industriehalle aus Stahl	
Bauort:	Lastannahmen werden für folgende Region getroffen:	
	Windzone 2 (Binnenland)	
	Schneelastzone 2 bis 285 m ü. d. M.	
Abmessungen:	1. Hallenschiff:	Hallenbreite (Achsmaß): 19,00 m
		Hallenlänge (Achsmaß): 60,00 m
		Firsthöhe (Achsmaß): 10,83 m
		Traufhöhe (Achsmaß): 10,00 m
		Satteldach: Dachneigung: 5°
		Höhe der 1. Kranbahnkonsole: 6,00 m
		Höhe der 2. Kranbahnkonsole: 8,00 m
	2. Hallenschiff:	Hallenbreite (Achsmaß): 19,00 m
		Hallenlänge (Achsmaß): 60,00 m
		Firsthöhe (Achsmaß): 7,83 m
		Traufhöhe (Achsmaß): 7,00 m
		Satteldach: Dachneigung: 5°
	Rahmenabstand:	6,00 m
Krane:	1. Kranbahnkonsole:	10 t Hublast (ABUS ELK 2t x 18000 mm)
	2. Kranbahnkonsole:	2 t Hublast (ABUS ELK 10t x 18000 mm)
Dachaufbau:	Es wird ein Pfettendach als Warmdach mit Trapezblecheindeckung und bituminös verklebtem Dachaufbau ausgeführt. Die Pfetten werden als 3-Feldträger ausgebildet und das Trapezblech spannt als Durchlaufträger über je eine Dachhälfte.	
Wandaufbau:	Die Wände werden als durchlässig angenommen, deshalb ist der Innendruck nach DIN 1055-4 als Lastfall zu berücksichtigen. Die Wandverkleidung wird als Dreifeldträger angenommen.	
Material:	Für die Stahlkonstruktion ist der Werkstoff S235 vorgesehen.	

Statisches Grundkonzept: Die zweischiffige Halle wird als 3-stieliger Rahmen mit gelenkig gelagerten Stützenfüßen ausgeführt. Die Aussteifung der Halle senkrecht zur Rahmenebene wird durch druckschlaffe Diagonalverbände zwischen dem ersten und letzten Hallenfeld realisiert. Des weiteren wird in den genannten Hallenfeldern die horizontale Verschiebung der Dachebene durch K-Verbände behindert, wobei die Pfetten als Druckpfosten fungieren. Im 1. Hallenschiff werden zwei übereinander angeordneten Brückenlaufkranen eingesetzt, deren Kranbahnen auf Konsolen, die biegesteif an die Hallenstützen anschließen, gelagert sind.

2 Lastannahmen

2.1 Eigengewicht

Das Eigengewicht des Dachaufbaus setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Abdichtungsbahn 2-lagig 0,11 kN/m²
- Dämmung 14 cm 0,14 kN/m²
- Dampfsperrbahn 0,05 kN/m²
- Trapezblech T50.1 Positivlage t = 0,88 mm 0,088kN/m²
- Σ Dachaufbau 0,388 kN/m²
- Pfetten IPE 200 0,2237 kN/m

Das Statikprogramm RSTAB 5.14 berücksichtigt automatisch den Ansatz der Eigengewichte der Rahmenquerschnitte.

2.2 Windlasten

Die Windlastannahme wird mit vereinfachten Böengeschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe geführt (DIN 1055-4 Tab. 2).

Für die Windzone 2 (Binnenland) gilt:

- 1. Hallenschiff: 10 m < Firsthöhe h = 10,83 m < 18m
  Geschwindigkeitsdruck q = 0,8 kN/m²

- 2. Hallenschiff: Firsthöhe h = 7,83 m < 10 m
  Geschwindigkeitsdruck q = 0,65 kN/m²

2.2.1 Außendrücke für die Außenwände

Die Berechnung der Außendruckbeiwerte für die Wände wird vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, mit dem ermittelten Böengeschwindigkeitsdruck q = 0,8 kN/m² des 1. Hallenschiffes geführt.

Anströmrichtung θ = 0°

h = 10,83 m d = 38 m b = 60 m

e = b = 60 m > 2h = 21,66 m

e = 21,66 m < d = 38 m e/5 = 4,33 m

h/d = 0,285	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,705	-0,309
w_e [kN/m²]	-0,96	-0,64	-0,4	+0,56	-0,25

Tabelle 1: Außenwände - Anströmrichtung 0° - Außendruckbeiwerte

Anströmrichtung θ = 90°

h = 10,83 m d = 60 m b = 38 m

e = b = 38 m > 2h = 21,66 m

e = 21,66 m < d = 60 m e/5 = 4,33 m

h/d ≤ 0,25	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3
w_e [kN/m²]	-0,96	-0,64	-0,4	+0,56	-0,24

Tabelle 2: Außenwände - Anströmrichtung 90° - Außendruckbeiwerte

2.2.2 Außendrücke für das Satteldach des 1. Hallenschiffes

Geschwindigkeitsdruck q = 0,8 kN/m²

Anströmrichtung θ = 0°

h = 10,83 m b = 60 m

e = b = 60 m > 2h = 21,66 m

e = 21,66 m e/4 = 5,42 m e/10 = 2,17 m

α = 5°	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6/+0,2	-0,6/+0,2
w_e [kN/m²]	-1,36	-0,96	-0,48	-0,48/+0,16	-0,48/+0,16

Tabelle 3: Satteldach 1. Hallenschiff- Anströmrichtung 0° - Außendruckbeiwerte

Anströmrichtung θ = 90°

h = 10,83 m b = 19 m

e = b = 19 m > 2h = 21,66 m

e = 19 m e/4 = 4,75 m e/10 = 1,9 m

α = 5°	F	G	H	I	
$c_{pe,10}$	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6/+0,2	
w_e [kN/m²]	-1,28	-1,04	-0,56	-0,48/+0,16	

Tabelle 4: Satteldach 1. Hallenschiff- Anströmrichtung 90° - Außendruckbeiwerte

2.2.3 Außendrücke für das Satteldach des 2. Hallenschiffes

Geschwindigkeitsdruck q = 0,65 kN/m²

Anströmrichtung θ = 0°

h = 7,83 m b = 60 m

e = b = 60 m > 2h = 15,66 m

e = 15,66 m e/4 = 3,92 m e/10 = 1,57 m

α = 5°	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6/+0,2	-0,6/+0,2
w_e [kN/m²]	-1,11	-0,78	-0,39	-0,39/+0,13	-0,39/+0,13

Tabelle 5: Satteldach 2. Hallenschiff- Anströmrichtung 0° - Außendruckbeiwerte

Anströmrichtung θ = 90°

h = 7,83 m b = 19 m

e = b = 19 m > 2h = 15,66 m

e = 15,66 m e/4 = 3,92 m e/10 = 1,57 m

α = 5°	F	G	H	I	
$c_{pe,10}$	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6/+0,2	
w_e [kN/m²]	-1,04	-0,85	-0,46	-0,39/+0,13	

Tabelle 6: Satteldach 2. Hallenschiff- Anströmrichtung 90° - Außendruckbeiwerte

2.2.4 Innendrücke

Die Innendrücke werden nach DIN 1055-4 Kap. 12.1.8 für ein Flächenparameter μ zwischen 0,47 und 0,7 bestimmt. Vereinfacht, auf der sicheren Seite liegend, wird der Böengeschwindigkeitsdruck q = 0,8 kN/m² des 1. Hallenschiffes angesetzt.

c_{pi}	+0,2	-0,3
w_i [kN/m²]	+0,16	-0,24

Tabelle 7: Innendrücke

2.3 Schneelast

Für Bauorte bis zu einer Höhe von 285 m ü. d. M. in der Schneelastzone 2 wird nach DIN 1055-5 Bild 2 die Schneelast s_k auf den Wert 0,85 kN/m² festgelegt.
Aus der Dachneigung des Satteldaches α = 5° ergibt sich der Formbeiwert μ_1 = 0,8.
Das Produkt aus Schneelast und Formbeiwert ergibt die anzusetzende Schneelast s_1 auf die Satteldächer der beiden Hallenschiffe von s_1 = 0,68 kN/m².

An der Mittelstütze der zweischiffigen Halle kommt es zu einem Höhensprung von 3 m zwischen dem 1. und 2. Hallenschiff. Nach DIN 1055-5 Kap. 4.3.7 muss deshalb das Anwehen und/oder Abrutschen des Schnees vom höher gelegenen Dach berücksichtigt werden.

Höhensprung h = 3 m > 0,5 m →zusätzliche Belastung aus Abrutschen und/oder Anwehen von Schnee muss berücksichtigt werden

Formbeiwert μ_S = 0 für α = 5° < 15°

Formbeiwert μ_4 :

$$\mu_W=\frac{b_1+b_2}{2*h}=\frac{19\,m+19\,m}{2*3m}=\underline{\underline{6{,}33}}\ <\ \mu_W=\frac{\gamma*h}{s_k}-\mu_S=\frac{2\frac{kN}{m^3}*3\,m}{0{,}85\frac{kN}{m^2}}=7{,}06$$

$$0{,}8\ <\ \mu_4=\mu_W+\mu_S=6{,}33+0{,}00=6{,}33\ >\ \underline{\underline{4{,}0}}$$

Schneelast s_4 : $s_4=\mu_4*s_k=4{,}0*0{,}85=3{,}4\frac{kN}{m^2}$

Länge des Verwehungskeils: $5m\ <\ l_S=2*h=2*3m=\underline{\underline{6m}}\ <\ 15m$

2.4 Lasten infolge Kranbetrieb

Im 1. Hallenschiff wird auf der 1. Konsole ein Brückenlaufkran mit 10 t Traglast installiert und auf der 2. Konsole ein Brückenlaufkran mit 2 t Traglast.

Die maximalen Auflagerkräfte der Kranbahnen infolge Kranbetrieb auf die Konsolen kann nachfolgender Tabelle entnommen werden.

		linker Kranbahnträger / linke Katzstellung			
		vertikale Auflagerlasten		horizontale Auflagerlasten	
Hublast	statisches System des Kranbahnträgers	Eigengewicht der Kranbahn [kN]	Radlast [kN] mit φ=1,1	Schräglaufkraft [kN]	Massekraft [kN]
2t	Einfeldträger	4,62	28,07	4,4	1,08
10t	Einfeldträger	7,96	102,74	15,95	4,19
		rechter Kranbahnträger / linke Katzstellung			
		vertikale Auflagerlasten		horizontale Auflagerlasten	
Hublast	statisches System des Kranbahnträgers	Eigengewicht der Kranbahn [kN]	Radlast [kN] mit φ=1,1	Schräglaufkraft [kN]	Massekraft [kN]
2t	Einfeldträger	4,62	10,9	4,4	0,45
10t	Einfeldträger	7,96	22,9	15,95	0,95

Tabelle 8: Auflagerkräfte der Kranbahnen infolge Kranbetrieb auf die Konsolen

Die Pufferkräfte können den Krandatenblättern entnommen werden. Für den 2 t-Kran wird eine maximale Pufferkraft von 15,5 kN angegeben, für den 10 t-Kran eine maximale Pufferkraft von 24,2 kN.

3 Hallenrahmen

3.1 Lastfälle

Alle im Folgenden nicht aufgeführten Lastfälle wurden untersucht und als nicht bemessungsrelavant eingestuft.

LF 1 Eigengewichte

Die Last infolge Dachaufbau wird als Streckenlast auf die Rahmenriegel angesetzt, wohingegen die Pfetten als Einzellasten in ihren Auflagerpunkten auf den Riegeln berücksichtigt werden.

Die auf den Rahmenriegel anzusetzenden Strecken- und Einzellasten errechnen sich zu:

$$g^* = \Sigma g * b * 1{,}1 = 0{,}388 \frac{kN}{m^2} * 6\,m * 1{,}1 = 2{,}561 \frac{kN}{m}$$

$$F_{IPE\,200} = g_{IPE\,200} * b * 1{,}1 = 0{,}2237 \frac{kN}{m} * 6\,m * 1{,}1 = 1{,}48\,kN$$

mit

Rahmenabstand $b = 6m$

Faktor 1,1 resultiert aus der 3−Feldträgerwirkung der Pfetten

Die Eigengewichte der Kranbahnen werden aus Tabelle 8 entnommen.

Das Statikprogramm RSTAB 5.14 berücksichtigt automatisch den Ansatz der Eigengewichte der Rahmenquerschnitte.

LF 2 Schnee

Die auf die Rahmenriegel anzusetzende Schneelasten berechnen sich zu:

$$s_1^* = s_1 * b * 1{,}1 = 0{,}68 \frac{kN}{m^2} * 6\,m * 1{,}1 = 4{,}488 \frac{kN}{m}$$

$$s_4^* = s_4 * b * 1{,}1 = 3{,}4 \frac{kN}{m^2} * 6\,m * 1{,}1 = 22{,}44 \frac{kN}{m}$$

mit

Rahmenabstand $b = 6m$

Faktor 1,1 resultiert aus der 3−Feldträgerwirkung der Pfetten

LF 3-5 Windlasten

Die Windlasten werden als Streckenlasten auf den Rahmen angesetzt. Auf die detaillierte Darstellung der Umrechnung der Flächenlasten auf den Hallenrahmen, unter Berücksichtigung der Einteilung von Wand- und Dachflächen nach DIN 1055-4, wird an dieser Stelle verzichtet.

Mit nachfolgenden Gleichungen werden die Flächenlasten zu Streckenlasten auf den Hallenrahmen berechnet:

$w_e^* = w_e * b * 1{,}1$ bzw. $w_i^* = w_i * b * 1{,}1$
mit
Rahmenabstand $b = 6m$
Faktor 1,1 resultiert aus der 3−Feldträgerwirkung der Pfetten bzw. Wandriegel

LF 10-17 Kräfte infolge Kranbetrieb
Die anzusetzenden Lasten werden Tabelle 8 entnommen.

LF 20-27 Kräfte infolge Kranbetrieb
Beim Gebrauchstauglichkeitsnachweis nach EC 3 wird der Schwingbeiwert φ = 1,0 gesetzt. Deshalb ist es erforderlich die in Tabelle 8 aufgeführten Radlasten mit dem Faktor 1,1 zu dividieren.

LF 30-33
Für die maßgebenden Lastfallgruppen werden die Imperfektionen nach DIN 18800-2 angesetzt, um den Biegeknicknachweis nach Theorie II. Ordnung führen zu können.

3.2 Lastfallgruppen LG

LG 1-6 (Tragsicherheitsnachweise)
Die Lastfälle Eigengewicht, Schnee und Wind werden gemäß DIN 18800-1 überlagert

LG 10-37 (Tragsicherheitsnachweise)
Die Lastfälle Eigengewicht, Schnee, Wind sowie die Kräfte infolge Kranbetrieb mit unterschiedlicher Katzstellung werden überlagert.

LG 40-43 (Tragsicherheitsnachweise)
Die im Spannungsnachweis maßgebenden LG werden mit den nach DIN 18800-2 ermittelten Imperfektionen überlagert.

LG 70-73 (Gebrauchstauglichkeit)
Die Lastfallgruppen, die die größten Verformungen der Rahmenriegel aufweisen, werden auf Gebrauchstauglichkeit untersucht.

LG 80-87 (Gebrauchstauglichkeit)
Nach DIN EN 1993-6 wird der Rahmen mit den Lasten aus Kranbetrieb auf Gebrauchstauglichkeit untersucht.

3.3 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 - Hallenrahmen

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

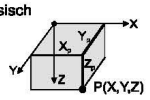
☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

☐ 1D-Durchlaufträger	26 Knoten	25 Stäbe
☐ 2D-Stabwerk	1 Materialien	0 Seilstäbe
☒ 3D-Stabwerk	7 Querschnitte	0 Voutenstäbe
☐ Trägerrost	0 Stabendgelenke	0 El. gebet. Stäbe
	0 Stabteilungen	7 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch	-	0.000	0.000	-6.000
3	Kartesisch	-	0.000	0.000	-8.000
4	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	-10.000
5	Kartesisch Gelagert	-	3.167	0.000	-10.277
6	Kartesisch Gelagert	-	6.333	0.000	-10.553
7	Kartesisch Gelagert	-	9.500	0.000	-10.830

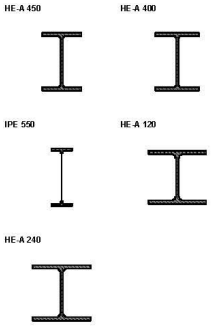
Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 2

KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
8	Kartesisch Gelagert	-	12.667	0.000	-10.553
9	Kartesisch Gelagert	-	15.833	0.000	-10.277
10	Kartesisch Gelagert	-	19.000	0.000	0.000
11	Kartesisch	-	19.000	0.000	-6.000
12	Kartesisch Gelagert	-	19.000	0.000	-7.000
13	Kartesisch	-	19.000	0.000	-8.000
14	Kartesisch Gelagert	-	19.000	0.000	-10.000
15	Kartesisch	-	20.583	0.000	-7.138
16	Kartesisch Gelagert	-	22.167	0.000	-7.277
17	Kartesisch Gelagert	-	25.333	0.000	-7.553
18	Kartesisch Gelagert	-	28.500	0.000	-7.830
19	Kartesisch Gelagert	-	31.667	0.000	-7.553
20	Kartesisch Gelagert	-	34.833	0.000	-7.277
21	Kartesisch Gelagert	-	38.000	0.000	0.000
22	Kartesisch Gelagert	-	38.000	0.000	-7.000
23	Kartesisch	2	0.500	0.000	0.000
24	Kartesisch	3	0.500	0.000	0.000
25	Kartesisch	11	-0.500	0.000	0.000
26	Kartesisch	13	-0.500	0.000	0.000

MATERIALIEN

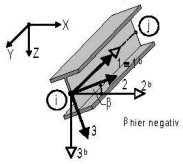
Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_T A	I_2 A_2	I_3 [cm⁴] A_3 [cm²]
1	1	HE-A 450	245.00 178.000	63720.00	9470.00
2	1	HE-A 450	245.00 178.000	63720.00	9470.00
3	1	HE-A 400	190.00 159.000	45070.00	8560.00
4	1	IPE 550	124.00 134.000	67120.00	2670.00
5	1	IPE 550	124.00 134.000	67120.00	2670.00
6	1	HE-A 120	6.02 25.300	606.00	231.00
7	1	HE-A 240	41.70 76.800	7760.00	2770.00

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Ende	Gelenk Anf.	Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	2	0.00	1	1	-	-	-	6.000	VERT
2	Balken	2	3	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
3	Balken	3	4	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
4	Balken	4	5	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
5	Balken	5	6	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
6	Balken	6	7	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
7	Balken	7	8	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
8	Balken	8	9	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
9	Balken	9	14	0.00	4	4	-	-	-	3.179	ALLG
10	Balken	10	11	0.00	2	2	-	-	-	6.000	VERT
11	Balken	11	12	0.00	2	2	-	-	-	1.000	VERT
12	Balken	12	13	0.00	2	2	-	-	-	1.000	VERT
13	Balken	13	14	0.00	2	2	-	-	-	2.000	VERT
14	Balken	12	15	0.00	5	5	-	-	-	1.589	ALLG
15	Balken	15	16	0.00	5	5	-	-	-	1.589	ALLG
16	Balken	16	17	0.00	5	5	-	-	-	3.179	ALLG
17	Balken	17	18	0.00	5	5	-	-	-	3.179	ALLG
18	Balken	18	19	0.00	5	5	-	-	-	3.179	ALLG
19	Balken	19	20	0.00	5	5	-	-	-	3.179	ALLG
20	Balken	20	22	0.00	5	5	-	-	-	3.179	ALLG
21	Balken	21	22	0.00	3	3	-	-	-	7.000	VERT
22	Balken	2	23	0.00	7	7	-	-	-	0.280	HORI
23	Balken	3	24	0.00	6	6	-	-	-	0.280	HORI
24	Balken	11	25	0.00	7	7	-	-	-	0.280	HORI

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 3

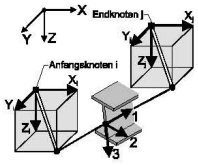
STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
25	Balken	13	26	0.00	6	6	-	-	-	0.280	HORI

AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1,10,21	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
2	4-9,12,14, 16-20,22	0.0	0.0	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein

Exzentrische Anschlüsse



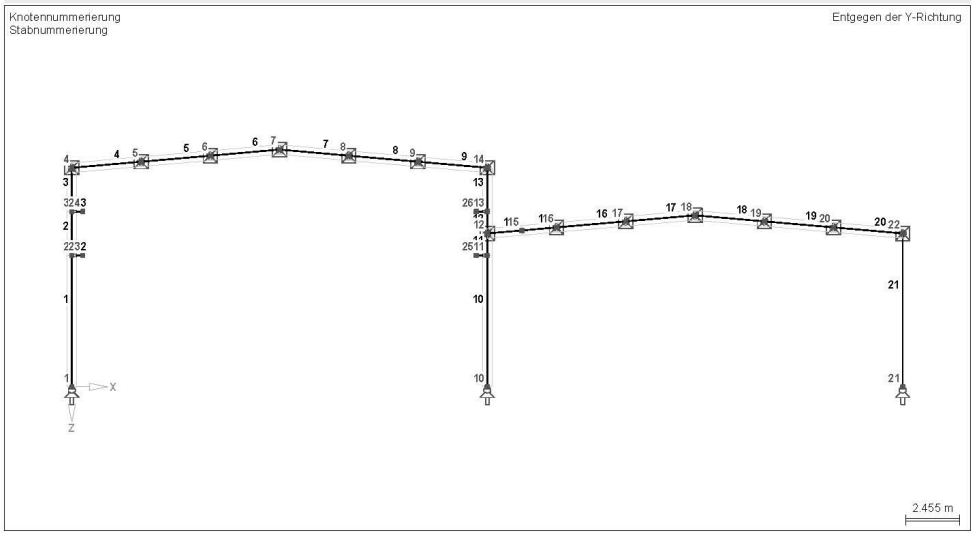
EXZENTRISCHE ANSCHLÜSSE

Exz.-Nr.	Exz. Anschluß an Stäben	Stab-Seite	Exzentrizität in Richtung X [m]	Y [m]	Z [m]
1	22-25	Anfang	0.220	0.000	0.000

STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1	Stütze links	1-3
2	Stütze mitte, oberer Teil	12,13
3	Stütze mitte, unterer Teil	10,11
4	Riegel 1. Hallenschiff	4-9
5	Riegel 2. Hallenschiff	14-20
6	Riegelteilstück 2.1	14,15
7	Stütze mitte	10-13

STRUKTUR



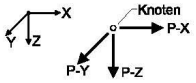
Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 4

BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewichte	1.00	Ständig	1.00
2	Schnee	1.00	Veränderlich	-
3	Wind 90°; Dach: Druck + negativer Innendruck	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 0° v.links;Dach:Sog/Druck+neg.Innendru	1.00	Veränderlich	-
5	Wind 0° v.rechts;Dach:Druck/Sog+neg.Innend	1.00	Veränderlich	-
10	Katzstellungen links; Massekräfte nach links	1.00	Veränderlich	-
11	Katzstellungen links; Massekräfte nach rechts	1.00	Veränderlich	-
12	Katzstellungen links; Schräglaufkräfte n. außen	1.00	Veränderlich	-
13	Katzstellungen links; Schräglaufkräfte n. innen	1.00	Veränderlich	-
14	Katzstellungen rechts; Massekräfte nach links	1.00	Veränderlich	-
15	Katzstellungen rechts; Massekräfte nach rechts	1.00	Veränderlich	-
16	Katzstellungen rechts; Schräglaufkräfte n. auße	1.00	Veränderlich	-
17	Katzstellungen rechts; Schräglaufkräfte n. inne	1.00	Veränderlich	-
20	phi=1,0: Katzstellung links; Massekräfte nach l.	1.00	Veränderlich	-
21	phi=1,0: Katzstellung links; Massekräfte nach r.	1.00	Veränderlich	-
22	phi=1,0: Katzstellung links; Schräglaufkr. n. a.	1.00	Veränderlich	-
23	phi=1,0: Katzstellung links; Schräglaufkr. n. i.	1.00	Veränderlich	-
24	phi=1,0: Katzstellung rechts; Massekräfte n. l.	1.00	Veränderlich	-
25	phi=1,0: Katzstellung rechts; Massekräfte n. r.	1.00	Veränderlich	-
26	phi=1,0: Katzstellung rechts; Schräglaufkr. n. a.	1.00	Veränderlich	-
27	phi=1,0: Katzstellung rechts; Schräglaufkr. n. i.	1.00	Veränderlich	-
30	Imperfektion LG 11	1.00	Imperfektion	-
31	Imperfektion LG 12	1.00	Imperfektion	-
32	Imperfektion LG 21	1.00	Imperfektion	-
33	Imperfektion LG 34	1.00	Imperfektion	-

Globale Knotenkraft

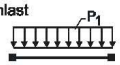


KNOTENKRÄFTE

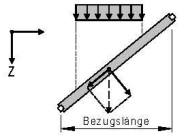
LF 1

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	4-6,8,9,12,14,16,17, 19,20,22	0.000	0.000	1.480
2	7,18	0.000	0.000	2.960
3	24,26	0.000	0.000	4.620
4	23,25	0.000	0.000	7.960

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung

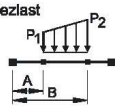


STABLASTEN

LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	4-9,14-20	1	Z	2.805			

4 - Trapezlast

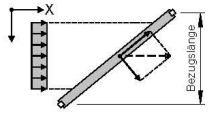


STABLASTEN

LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	4-9,18-20	1	Z	4.488			
2	14	4	Z	22.440	17.8061	0.000	1.58333
3	15	4	Z	17.8061	13.1722	0.000	1.58333
4	16	4	Z	13.1722	4.880	0.000	2.83333
5	16	4	Z	4.880	4.880	2.83333	3.16667
6	17	4	Z	4.880	4.880	0.000	3.16667

X - Global in X-Richtung

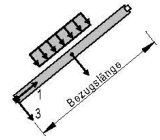


STABLASTEN

LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	X	-2.640			
2	12,13,21	1	X	2.640			
3	4-9	1	3	1.056			
4	14-20	1	3	0.858			
5	4-9,14-20	1	3	1.584			

3 - Lokal in 3-Richtung



Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 5

STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1-3	1	X	3.696			
2	12,13	1	X	1.650			
3	21	1	X	1.650			
4	4	4	3	-7.663	-7.663	0.000	2.170
5	4	4	3	-3.168	-3.1681	2.170	3.17873
6	5	4	3	-3.1681	-3.1686	0.000	3.17873
7	6	4	3	-3.1686	-3.169	0.000	3.17873
8	7-9	1	3	1.056			
9	18-20	1	3	0.858			
10	1-3,7-9,18-20	1	3	1.584			
11	14	4	3	-5.770	-5.770	0.000	1.570
12	14	4	3	-2.574	-2.574	1.570	1.58936
13	15	4	3	-2.574	-2.574	0.000	1.58937
14	16	4	3	-2.574	-2.574	0.000	3.17873
15	17	4	3	-2.574	-2.574	0.000	3.17873

STABLASTEN LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1-3	1	X	-1.650			
2	12,13	1	X	-3.696			
3	21	1	X	-3.696			
4	4-6	1	3	1.056			
5	7	4	3	-3.168	-3.168	0.000	3.17873
6	8	4	3	-3.168	-3.168	0.000	3.17873
7	9	4	3	-3.168	-3.168	0.000	0.97254
8	9	4	3	-7.663	-7.663	0.97254	3.17873
9	14-17	1	3	0.858			
10	18	4	3	-2.574	-2.574	0.000	3.17873
11	19	4	3	-2.574	-2.574	0.000	3.17873
12	20	4	3	-2.574	-2.574	0.000	1.57254
13	20	4	3	-5.770	-5.770	1.57254	3.17873
14	4-6,14-17	1	3	1.584			
15	12,13,21	1	3	-1.584			

KNOTENKRÄFTE LF 10

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	-1.080	0.000	28.070
2	26	-0.450	0.000	10.900
3	23	-4.190	0.000	102.740
4	25	-0.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 11

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	1.080	0.000	28.070
2	26	0.450	0.000	10.900
3	23	4.190	0.000	102.740
4	25	0.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 12

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	-4.400	0.000	28.070
2	26	4.400	0.000	10.900
3	23	-15.950	0.000	102.740
4	25	15.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 13

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	4.400	0.000	28.070
2	26	-4.400	0.000	10.900
3	23	15.950	0.000	102.740
4	25	-15.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 14

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	-1.080	0.000	28.070
2	24	-0.450	0.000	10.900
3	25	-4.190	0.000	102.740
4	23	-0.950	0.000	22.900

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 6

KNOTENKRÄFTE LF 15

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	1.080	0.000	28.070
2	24	0.450	0.000	10.900
3	25	4.190	0.000	102.740
4	23	0.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 16

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	4.400	0.000	28.070
2	24	-4.400	0.000	10.900
3	25	15.950	0.000	102.740
4	23	-15.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 17

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	-4.400	0.000	28.070
2	24	4.400	0.000	10.900
3	25	-15.950	0.000	102.740
4	23	15.950	0.000	22.900

KNOTENKRÄFTE LF 20

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	-1.080	0.000	25.520
2	26	-0.450	0.000	9.910
3	23	-4.190	0.000	93.400
4	25	-0.950	0.000	20.820

KNOTENKRÄFTE LF 21

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	1.080	0.000	25.520
2	26	0.450	0.000	9.910
3	23	4.190	0.000	93.400
4	25	0.950	0.000	20.820

KNOTENKRÄFTE LF 22

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	-4.400	0.000	25.520
2	26	4.400	0.000	9.910
3	23	-15.950	0.000	93.400
4	25	15.950	0.000	20.820

KNOTENKRÄFTE LF 23

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	24	4.400	0.000	25.520
2	26	-4.400	0.000	9.910
3	23	15.950	0.000	93.400
4	25	-15.950	0.000	20.820

KNOTENKRÄFTE LF 24

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	-1.080	0.000	25.520
2	24	-0.450	0.000	9.910
3	25	-4.190	0.000	93.400
4	23	-0.950	0.000	20.820

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 7

KNOTENKRÄFTE LF 25

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	1.080	0.000	25.520
2	24	0.450	0.000	9.910
3	25	4.190	0.000	93.400
4	23	0.950	0.000	20.820

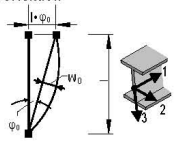
KNOTENKRÄFTE LF 26

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	4.400	0.000	25.520
2	24	-4.400	0.000	9.910
3	25	15.950	0.000	93.400
4	23	-15.950	0.000	20.820

KNOTENKRÄFTE LF 27

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	26	-4.400	0.000	25.520
2	24	4.400	0.000	9.910
3	25	-15.950	0.000	93.400
4	23	15.950	0.000	20.820

Imperfektion



IMPERFEKTIONEN LF 30

Nr.	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/ϕ_0]	Vorkrümmung [l/w_0]	Aktiviere w_0 ab ε
1	21	3	450.077	450.000	1.600
2	1-3	3	537.945	-450.000	1.600
3	10-13	3	537.945	450.000	1.600
4	4-9	3	0.000	450.000	1.600
5	14-20	3	0.000	450.000	1.600

IMPERFEKTIONEN LF 31

Nr.	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/ϕ_0]	Vorkrümmung [l/w_0]	Aktiviere w_0 ab ε
1	21	3	450.077	450.000	1.600
2	1-3	3	537.945	-450.000	1.600
3	10-13	3	537.945	450.000	1.600
4	4-9	3	0.000	450.000	1.600
5	14-20	3	0.000	450.000	1.600

IMPERFEKTIONEN LF 32

Nr.	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/ϕ_0]	Vorkrümmung [l/w_0]	Aktiviere w_0 ab ε
1	21	3	450.077	450.000	1.600
2	1-3	3	537.945	-450.000	1.600
3	10-13	3	537.945	450.000	1.600
4	4-9	3	0.000	450.000	1.600
5	14-20	3	0.000	450.000	1.600

IMPERFEKTIONEN LF 33

Nr.	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/ϕ_0]	Vorkrümmung [l/w_0]	Aktiviere w_0 ab ε
1	21	3	-450.077	450.000	1.600
2	1-3	3	-537.945	-450.000	1.600
3	10-13	3	-537.945	-450.000	1.600
4	4-9	3	0.000	450.000	1.600
5	14-20	3	0.000	450.000	1.600

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 8

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	Eigengewicht+1.5°0.9°(Schnee+Wind 90°)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3
2	Eigengewicht+1.5°(Schnee+0.5°Wind 90°)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.50°LF2 + 0.75°LF3
3	Eigengewicht+1.5°0.9°(Schnee+Wind 0° von links)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4
4	Eigengewicht+1.5°(Schnee+0.5°Wind 0° von links)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.50°LF2 + 0.75°LF4
5	Eigengewicht+1.5°0.9(Schnee+Wind 0° von rechts)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5
6	Eigengewicht+1.5°(Schnee+0.5°Wind 0° von rechts)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.50°LF2 + 0.75°LF5
10	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF10
11	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF11
12	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF12
13	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF13
14	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF14
15	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF15
16	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF16
17	Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF17
20	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF10
21	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF11
22	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF12
23	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF13
24	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF14
25	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF15
26	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF16
27	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF17
30	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF10
31	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF11
32	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF12
33	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF13
34	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. l.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF14
35	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. r.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF15
36	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. a.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF16
37	Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. i.	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF17
40	LG 11 + Imperfektion	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF11 + LF30
41	LG 12 + Imperfektion	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF12 + LF31
42	LG21 + Imperfektion	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF4 + 1.35°LF11 + LF32
43	LG 34 + Imperfektion	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF5 + 1.35°LF14 + LF33
70	Gebrauchstauglichkeit LG 11	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF3 + LF21
71	Gebrauchstauglichkeit LG 13	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF3 + LF23
72	Gebrauchstauglichkeit LG 15	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF3 + LF25
73	Gebrauchstauglichkeit LG 21	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF4 + LF21
80	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung links; Massekräfte l.	1.00	1.10	LF1 + LF20
81	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung links; Massekräfte r.	1.00	1.10	LF1 + LF21
82	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung links; Schräglaufkr. a.	1.00	1.10	LF1 + LF22
83	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung links; Schräglaufkr. i.	1.00	1.10	LF1 + LF23
84	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung rechts; Massekräfte l.	1.00	1.10	LF1 + LF24
85	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung rechts; Massekräfte r.	1.00	1.10	LF1 + LF25
86	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung rechts; Schrägl. a.	1.00	1.10	LF1 + LF26
87	Gebrauchstauglichkeit: Katzstellung rechts; Schrägl. i.	1.00	1.10	LF1 + LF27

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 9

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
1	LG11	Max N	6.00	-338.96	.00	-27.81	.00	-239.71	.00
		Min N	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-338.96	.00	-27.81	.00	-239.71	.00
		Min Q-3	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Max T	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Min T	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-338.96	.00	-27.81	.00	-239.71	.00
		Max M-3	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-350.28	.00	-51.44	.00	.00	.00
	LG12	Max N	6.00	-339.96	.00	-40.16	.00	-316.53	.00
		Min N	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-339.96	.00	-40.16	.00	-316.53	.00
		Min Q-3	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Max T	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Min T	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-339.96	.00	-40.16	.00	-316.53	.00
		Max M-3	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-351.28	.00	-64.47	.00	.00	.00
	LG13	Max N	6.00	-340.45	.00	-22.88	.00	-209.17	.00
		Min N	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-340.45	.00	-22.88	.00	-209.17	.00
		Min Q-3	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Max T	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Min T	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-340.45	.00	-22.88	.00	-209.17	.00
		Max M-3	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-351.77	.00	-46.26	.00	.00	.00
	LG21	Max N	6.00	-265.28	.00	-24.88	.00	-20.18	.00
		Min N	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Min Q-3	6.00	-265.28	.00	-24.88	.00	-20.18	.00
		Max T	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Min T	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Max M-2	2.40	-272.07	.00	.90	.00	22.89	.00
		Min M-2	6.00	-265.28	.00	-24.88	.00	-20.18	.00
		Max M-3	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-276.60	.00	18.12	.00	.00	.00
	LG22	Max N	6.00	-266.26	.00	-37.28	.00	-96.75	.00
		Min N	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Min Q-3	6.00	-266.26	.00	-37.28	.00	-96.75	.00
		Max T	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Min T	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Max M-2	.75	-276.17	.00	-.18	.00	1.88	.00
		Min M-2	6.00	-266.26	.00	-37.28	.00	-96.75	.00
		Max M-3	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-277.58	.00	5.18	.00	.00	.00
	LG34	Max N	6.00	-204.44	.00	-33.23	.00	-245.17	.00
		Min N	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-204.44	.00	-33.23	.00	-245.17	.00
		Min Q-3	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Max T	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Min T	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-204.44	.00	-33.23	.00	-245.17	.00
		Max M-3	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-215.76	.00	-48.02	.00	.00	.00
	LG37	Max N	6.00	-203.43	.00	-22.51	.00	-179.41	.00
		Min N	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-203.43	.00	-22.51	.00	-179.41	.00
		Min Q-3	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Max T	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Min T	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-203.43	.00	-22.51	.00	-179.41	.00
		Max M-3	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-214.75	.00	-36.94	.00	.00	.00
	LG40	Max N	6.00	-338.62	.00	-27.33	.00	-236.68	.00
		Min N	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-338.62	.00	-27.33	.00	-236.68	.00
		Min Q-3	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Max T	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Min T	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-338.62	.00	-27.33	.00	-236.68	.00
		Max M-3	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-349.94	.00	-50.92	.00	.00	.00
	LG41	Max N	6.00	-339.62	.00	-39.68	.00	-313.50	.00
		Min N	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 10

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
1	LG41	Max Q-2	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-339.62	.00	-39.68	.00	-313.50	.00
		Min Q-3	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Max T	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Min T	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-339.62	.00	-39.68	.00	-313.50	.00
		Max M-3	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-350.94	.00	-63.95	.00	.00	.00
	LG42	Max N	6.00	-265.01	.00	-24.47	.00	-17.61	.00
		Min N	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-276.33	.00	18.55	.00	.00	.00
		Min Q-3	6.00	-265.01	.00	-24.47	.00	-17.61	.00
		Max T	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Min T	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Max M-2	2.70	-271.23	.00	-.83	.00	24.01	.00
		Min M-2	6.00	-265.01	.00	-24.47	.00	-17.61	.00
		Max M-3	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-276.33	.00	18.54	.00	.00	.00
	LG43	Max N	6.00	-204.71	.00	-33.56	.00	-247.21	.00
		Min N	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Max Q-3	6.00	-204.71	.00	-33.56	.00	-247.21	.00
		Min Q-3	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Max T	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Min T	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Max M-2	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Min M-2	6.00	-204.71	.00	-33.56	.00	-247.21	.00
		Max M-3	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-216.03	.00	-48.37	.00	.00	.00
6	LG11	Max N	3.18	-23.84	.00	-11.54	.00	330.96	.00
		Min N	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Max Q-2	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Min Q-2	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Max Q-3	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Min Q-3	3.18	-23.84	.00	-11.54	.00	330.96	.00
		Max T	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Min T	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Max M-2	2.38	-24.62	.00	.23	.00	335.45	.00
		Min M-2	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Max M-3	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
		Min M-3	.00	-26.95	.00	35.56	.00	292.79	.00
	LG12	Max N	3.18	-1.62	.00	-8.57	.00	355.71	.00
		Min N	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Max Q-2	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Min Q-2	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Max Q-3	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Min Q-3	3.18	-1.62	.00	-8.57	.00	355.71	.00
		Max T	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Min T	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Max M-2	2.54	-2.24	.00	.81	.00	358.17	.00
		Min M-2	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Max M-3	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
		Min M-3	.00	-4.73	.00	38.36	.00	308.35	.00
	LG13	Max N	3.18	-38.97	.00	-11.38	.00	311.93	.00
		Min N	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Max Q-2	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Min Q-2	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Max Q-3	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Min Q-3	3.18	-38.97	.00	-11.38	.00	311.93	.00
		Max T	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Min T	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Max M-2	2.38	-39.74	.00	.41	.00	316.29	.00
		Min M-2	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Max M-3	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
		Min M-3	.00	-42.07	.00	35.82	.00	273.09	.00
	LG21	Max N	3.18	-57.60	.00	-.52	.00	207.71	.00
		Min N	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Max Q-2	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Min Q-2	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Max Q-3	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Min Q-3	3.18	-57.60	.00	-.52	.00	207.71	.00
		Max T	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Min T	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Max M-2	3.18	-57.60	.00	-.52	.00	207.71	.00
		Min M-2	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Max M-3	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
		Min M-3	.00	-60.70	.00	21.73	.00	173.99	.00
	LG22	Max N	3.18	-35.47	.00	2.42	.00	232.83	.00
		Min N	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Max Q-2	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Min Q-2	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Max Q-3	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Min Q-3	3.18	-35.47	.00	2.42	.00	232.83	.00
		Max T	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Min T	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Max M-2	3.18	-35.47	.00	2.42	.00	232.83	.00
		Min M-2	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Max M-3	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
		Min M-3	.00	-38.58	.00	24.58	.00	189.90	.00
	LG34	Max N	3.18	-23.27	.00	-15.04	.00	228.87	.00
		Min N	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Max Q-2	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Min Q-2	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 11

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
6	LG34	Max Q-3	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Min Q-3	3.18	-23.27	.00	-15.04	.00	228.87	.00
		Max T	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Min T	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Max M-2	2.23	-24.20	.00	-.93	.00	236.48	.00
		Min M-2	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Max M-3	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
		Min M-3	.00	-26.37	.00	31.99	.00	201.92	.00
	LG37	Max N	3.18	-41.86	.00	-17.70	.00	208.05	.00
		Min N	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Max Q-2	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Min Q-2	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Max Q-3	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Min Q-3	3.18	-41.86	.00	-17.70	.00	208.05	.00
		Max T	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Min T	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Max M-2	1.91	-43.10	.00	1.15	.00	218.58	.00
		Min M-2	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Max M-3	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
		Min M-3	.00	-44.96	.00	29.42	.00	189.42	.00
	LG40	Max N	3.18	-24.04	.00	-11.90	.00	330.97	.00
		Min N	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Max Q-2	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Min Q-2	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Max Q-3	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Min Q-3	3.18	-24.04	.00	-11.90	.00	330.97	.00
		Max T	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Min T	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Max M-2	2.38	-24.82	.00	-.13	.00	335.76	.00
		Min M-2	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Max M-3	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
		Min M-3	.00	-27.15	.00	35.20	.00	293.94	.00
	LG41	Max N	3.18	-1.83	.00	-8.92	.00	355.72	.00
		Min N	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Max Q-2	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Min Q-2	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Max Q-3	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Min Q-3	3.18	-1.83	.00	-8.92	.00	355.72	.00
		Max T	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Min T	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Max M-2	2.54	-2.45	.00	.46	.00	358.41	.00
		Min M-2	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Max M-3	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
		Min M-3	.00	-4.93	.00	38.00	.00	309.51	.00
	LG42	Max N	3.18	-57.72	.00	-.81	.00	207.73	.00
		Min N	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Max Q-2	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Min Q-2	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Max Q-3	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Min Q-3	3.18	-57.72	.00	-.81	.00	207.73	.00
		Max T	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Min T	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Max M-2	3.02	-57.87	.00	.31	.00	207.77	.00
		Min M-2	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Max M-3	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
		Min M-3	.00	-60.83	.00	21.45	.00	174.92	.00
	LG43	Max N	3.18	-23.19	.00	-14.76	.00	228.70	.00
		Min N	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Max Q-2	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Min Q-2	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Max Q-3	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Min Q-3	3.18	-23.19	.00	-14.76	.00	228.70	.00
		Max T	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Min T	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Max M-2	2.23	-24.12	.00	-.66	.00	236.05	.00
		Min M-2	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Max M-3	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
		Min M-3	.00	-26.29	.00	32.27	.00	200.87	.00
7	LG11	Max N	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min N	3.18	-28.93	.00	-58.31	.00	220.42	.00
		Max Q-2	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min Q-2	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Max Q-3	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min Q-3	3.18	-28.93	.00	-58.31	.00	220.42	.00
		Max T	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min T	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Max M-2	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min M-2	3.18	-28.93	.00	-58.31	.00	220.42	.00
		Max M-3	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
		Min M-3	.00	-25.82	.00	-11.22	.00	330.96	.00
	LG12	Max N	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min N	3.18	-6.54	.00	-59.08	.00	242.50	.00
		Max Q-2	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min Q-2	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Max Q-3	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min Q-3	3.18	-6.54	.00	-59.08	.00	242.50	.00
		Max T	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min T	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Max M-2	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min M-2	3.18	-6.54	.00	-59.08	.00	242.50	.00
		Max M-3	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
		Min M-3	.00	-3.43	.00	-12.14	.00	355.71	.00
	LG13	Max N	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min N	3.18	-43.80	.00	-55.62	.00	210.07	.00
		Max Q-2	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min Q-2	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Max Q-3	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min Q-3	3.18	-43.80	.00	-55.62	.00	210.07	.00

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 12

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
7	LG13	Max T	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min T	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Max M-2	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min M-2	3.18	-43.80	.00	-55.62	.00	210.07	.00
		Max M-3	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
		Min M-3	.00	-40.69	.00	-8.44	.00	311.93	.00
	LG21	Max N	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Min N	3.18	-60.26	.00	-41.68	.00	150.17	.00
		Max Q-2	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Min Q-2	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Max Q-3	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Min Q-3	3.18	-60.26	.00	-41.68	.00	150.17	.00
		Max T	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Min T	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Max M-2	.32	-57.47	.00	.78	.00	208.70	.00
		Min M-2	3.18	-60.26	.00	-41.68	.00	150.17	.00
		Max M-3	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
		Min M-3	.00	-57.16	.00	5.49	.00	207.71	.00
	LG22	Max N	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Min N	3.18	-37.97	.00	-42.54	.00	172.45	.00
		Max Q-2	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Min Q-2	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Max Q-3	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Min Q-3	3.18	-37.97	.00	-42.54	.00	172.45	.00
		Max T	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Min T	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Max M-2	.32	-35.17	.00	-.15	.00	233.53	.00
		Min M-2	3.18	-37.97	.00	-42.54	.00	172.45	.00
		Max M-3	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
		Min M-3	.00	-34.86	.00	4.56	.00	232.83	.00
	LG34	Max N	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min N	3.18	-28.97	.00	-36.86	.00	146.79	.00
		Max Q-2	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min Q-2	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Max Q-3	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min Q-3	3.18	-28.97	.00	-36.86	.00	146.79	.00
		Max T	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min T	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Max M-2	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min M-2	3.18	-28.97	.00	-36.86	.00	146.79	.00
		Max M-3	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
		Min M-3	.00	-25.87	.00	-14.76	.00	228.87	.00
	LG37	Max N	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min N	3.18	-47.74	.00	-36.32	.00	127.79	.00
		Max Q-2	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min Q-2	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Max Q-3	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min Q-3	3.18	-47.74	.00	-36.32	.00	127.79	.00
		Max T	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min T	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Max M-2	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min M-2	3.18	-47.74	.00	-36.32	.00	127.79	.00
		Max M-3	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
		Min M-3	.00	-44.63	.00	-14.16	.00	208.05	.00
	LG40	Max N	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min N	3.18	-29.19	.00	-58.63	.00	219.42	.00
		Max Q-2	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min Q-2	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Max Q-3	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min Q-3	3.18	-29.19	.00	-58.63	.00	219.42	.00
		Max T	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min T	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Max M-2	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min M-2	3.18	-29.19	.00	-58.63	.00	219.42	.00
		Max M-3	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
		Min M-3	.00	-26.08	.00	-11.53	.00	330.97	.00
	LG41	Max N	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min N	3.18	-6.80	.00	-59.40	.00	241.50	.00
		Max Q-2	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min Q-2	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Max Q-3	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min Q-3	3.18	-6.80	.00	-59.40	.00	241.50	.00
		Max T	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min T	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Max M-2	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min M-2	3.18	-6.80	.00	-59.40	.00	241.50	.00
		Max M-3	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
		Min M-3	.00	-3.69	.00	-12.45	.00	355.72	.00
	LG42	Max N	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Min N	3.18	-60.43	.00	-41.94	.00	149.37	.00
		Max Q-2	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Min Q-2	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Max Q-3	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Min Q-3	3.18	-60.43	.00	-41.94	.00	149.37	.00
		Max T	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Min T	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Max M-2	.32	-57.63	.00	.52	.00	208.65	.00
		Min M-2	3.18	-60.43	.00	-41.94	.00	149.37	.00
		Max M-3	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
		Min M-3	.00	-57.32	.00	5.23	.00	207.73	.00
	LG43	Max N	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min N	3.18	-28.85	.00	-36.60	.00	147.45	.00
		Max Q-2	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min Q-2	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Max Q-3	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min Q-3	3.18	-28.85	.00	-36.60	.00	147.45	.00
		Max T	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min T	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 13

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
7	LG43	Max M-2	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min M-2	3.18	-28.85	.00	-36.60	.00	147.45	.00
		Max M-3	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
		Min M-3	.00	-25.74	.00	-14.50	.00	228.70	.00
9	LG11	Max N	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min N	3.18	-35.49	.00	-155.99	.00	-467.86	.00
		Max Q-2	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min Q-2	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Max Q-3	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min Q-3	3.18	-35.49	.00	-155.99	.00	-467.86	.00
		Max T	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min T	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Max M-2	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min M-2	3.18	-35.49	.00	-155.99	.00	-467.86	.00
		Max M-3	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
		Min M-3	.00	-32.38	.00	-109.29	.00	-46.07	.00
	LG12	Max N	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min N	3.18	-13.10	.00	-156.85	.00	-450.56	.00
		Max Q-2	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min Q-2	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Max Q-3	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min Q-3	3.18	-13.10	.00	-156.85	.00	-450.56	.00
		Max T	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min T	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Max M-2	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min M-2	3.18	-13.10	.00	-156.85	.00	-450.56	.00
		Max M-3	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
		Min M-3	.00	-9.99	.00	-110.00	.00	-26.31	.00
	LG13	Max N	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min N	3.18	-50.36	.00	-153.24	.00	-461.14	.00
		Max Q-2	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min Q-2	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Max Q-3	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min Q-3	3.18	-50.36	.00	-153.24	.00	-461.14	.00
		Max T	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min T	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Max M-2	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min M-2	3.18	-50.36	.00	-153.24	.00	-461.14	.00
		Max M-3	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
		Min M-3	.00	-47.25	.00	-106.63	.00	-47.92	.00
	LG21	Max N	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min N	3.18	-66.82	.00	-139.17	.00	-432.08	.00
		Max Q-2	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min Q-2	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Max Q-3	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min Q-3	3.18	-66.82	.00	-139.17	.00	-432.08	.00
		Max T	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min T	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Max M-2	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min M-2	3.18	-66.82	.00	-139.17	.00	-432.08	.00
		Max M-3	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
		Min M-3	.00	-63.72	.00	-92.65	.00	-63.44	.00
	LG22	Max N	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min N	3.18	-44.53	.00	-140.17	.00	-415.38	.00
		Max Q-2	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min Q-2	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Max Q-3	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min Q-3	3.18	-44.53	.00	-140.17	.00	-415.38	.00
		Max T	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min T	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Max M-2	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min M-2	3.18	-44.53	.00	-140.17	.00	-415.38	.00
		Max M-3	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
		Min M-3	.00	-41.42	.00	-93.50	.00	-43.84	.00
	LG34	Max N	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min N	3.18	-35.54	.00	-71.37	.00	-231.80	.00
		Max Q-2	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min Q-2	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Max Q-3	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min Q-3	3.18	-35.54	.00	-71.37	.00	-231.80	.00
		Max T	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min T	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Max M-2	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min M-2	3.18	-35.54	.00	-71.37	.00	-231.80	.00
		Max M-3	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
		Min M-3	.00	-32.43	.00	-62.88	.00	-11.81	.00
	LG37	Max N	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min N	3.18	-54.30	.00	-70.76	.00	-247.33	.00
		Max Q-2	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min Q-2	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Max Q-3	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min Q-3	3.18	-54.30	.00	-70.76	.00	-247.33	.00
		Max T	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min T	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Max M-2	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min M-2	3.18	-54.30	.00	-70.76	.00	-247.33	.00
		Max M-3	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
		Min M-3	.00	-51.20	.00	-62.35	.00	-29.13	.00
	LG40	Max N	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min N	3.18	-35.75	.00	-156.31	.00	-470.86	.00
		Max Q-2	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min Q-2	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Max Q-3	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min Q-3	3.18	-35.75	.00	-156.31	.00	-470.86	.00
		Max T	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min T	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Max M-2	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min M-2	3.18	-35.75	.00	-156.31	.00	-470.86	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 14

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
9	LG40	Max M-3	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
		Min M-3	.00	-32.65	.00	-109.61	.00	-48.07	.00
	LG41	Max N	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min N	3.18	-13.36	.00	-157.17	.00	-453.57	.00
		Max Q-2	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min Q-2	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Max Q-3	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min Q-3	3.18	-13.36	.00	-157.17	.00	-453.57	.00
		Max T	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min T	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Max M-2	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min M-2	3.18	-13.36	.00	-157.17	.00	-453.57	.00
		Max M-3	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
		Min M-3	.00	-10.25	.00	-110.32	.00	-28.31	.00
	LG42	Max N	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min N	3.18	-66.99	.00	-139.42	.00	-434.51	.00
		Max Q-2	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min Q-2	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Max Q-3	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min Q-3	3.18	-66.99	.00	-139.42	.00	-434.51	.00
		Max T	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min T	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Max M-2	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min M-2	3.18	-66.99	.00	-139.42	.00	-434.51	.00
		Max M-3	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
		Min M-3	.00	-63.88	.00	-92.91	.00	-65.06	.00
	LG43	Max N	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min N	3.18	-35.41	.00	-71.12	.00	-229.50	.00
		Max Q-2	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min Q-2	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Max Q-3	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min Q-3	3.18	-35.41	.00	-71.12	.00	-229.50	.00
		Max T	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min T	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Max M-2	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min M-2	3.18	-35.41	.00	-71.12	.00	-229.50	.00
		Max M-3	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
		Min M-3	.00	-32.30	.00	-62.62	.00	-10.33	.00
11	LG11	Max N	1.00	-404.39	.00	-8.73	.00	-76.29	.00
		Min N	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Max Q-2	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Min Q-2	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Max Q-3	1.00	-404.39	.00	-8.73	.00	-76.29	.00
		Min Q-3	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Max T	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Min T	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Max M-2	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Min M-2	1.00	-404.39	.00	-8.73	.00	-76.29	.00
		Max M-3	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
		Min M-3	.00	-406.28	.00	-8.96	.00	-67.45	.00
	LG12	Max N	1.00	-405.76	.00	-24.12	.00	-60.86	.00
		Min N	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Max Q-2	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Min Q-2	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Max Q-3	1.00	-405.76	.00	-24.12	.00	-60.86	.00
		Min Q-3	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Max T	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Min T	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Max M-2	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Min M-2	1.00	-405.76	.00	-24.12	.00	-60.86	.00
		Max M-3	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
		Min M-3	.00	-407.65	.00	-24.27	.00	-36.66	.00
	LG13	Max N	1.00	-404.94	.00	2.88	.00	-136.87	.00
		Min N	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Max Q-2	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Min Q-2	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Max Q-3	1.00	-404.94	.00	2.88	.00	-136.87	.00
		Min Q-3	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Max T	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Min T	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Max M-2	1.00	-404.94	.00	2.88	.00	-136.87	.00
		Min M-2	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Max M-3	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
		Min M-3	.00	-406.83	.00	2.42	.00	-139.53	.00
	LG21	Max N	1.00	-321.95	.00	5.25	.00	28.20	.00
		Min N	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Max Q-2	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Min Q-2	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Max Q-3	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Min Q-3	1.00	-321.95	.00	5.25	.00	28.20	.00
		Max T	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Min T	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Max M-2	1.00	-321.95	.00	5.25	.00	28.20	.00
		Min M-2	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Max M-3	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
		Min M-3	.00	-323.83	.00	5.33	.00	22.90	.00
	LG22	Max N	1.00	-323.30	.00	-10.01	.00	44.27	.00
		Min N	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Max Q-2	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Min Q-2	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Max Q-3	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Min Q-3	1.00	-323.30	.00	-10.01	.00	44.27	.00
		Max T	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Min T	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Max M-2	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Min M-2	1.00	-323.30	.00	-10.01	.00	44.27	.00
		Max M-3	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00
		Min M-3	.00	-325.18	.00	-9.86	.00	54.20	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 15

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
11	LG34	Max N	1.00	-345.17	.00	-33.48	.00	-364.43	.00
		Min N	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Max Q-2	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Min Q-2	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Max Q-3	1.00	-345.17	.00	-33.48	.00	-364.43	.00
		Min Q-3	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Max T	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Min T	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Max M-2	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Min M-2	1.00	-345.17	.00	-33.48	.00	-364.43	.00
		Max M-3	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
		Min M-3	.00	-347.06	.00	-34.47	.00	-330.45	.00
	LG37	Max N	1.00	-343.91	.00	-21.06	.00	-373.27	.00
		Min N	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Max Q-2	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Min Q-2	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Max Q-3	1.00	-343.91	.00	-21.06	.00	-373.27	.00
		Min Q-3	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Max T	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Min T	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Max M-2	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Min M-2	1.00	-343.91	.00	-21.06	.00	-373.27	.00
		Max M-3	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
		Min M-3	.00	-345.80	.00	-22.09	.00	-351.69	.00
	LG40	Max N	1.00	-404.21	.00	-7.97	.00	-69.93	.00
		Min N	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Max Q-2	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Min Q-2	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Max Q-3	1.00	-404.21	.00	-7.97	.00	-69.93	.00
		Min Q-3	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Max T	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Min T	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Max M-2	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Min M-2	1.00	-404.21	.00	-7.97	.00	-69.93	.00
		Max M-3	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
		Min M-3	.00	-406.10	.00	-8.18	.00	-61.85	.00
	LG41	Max N	1.00	-405.58	.00	-23.36	.00	-54.50	.00
		Min N	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Max Q-2	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Min Q-2	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Max Q-3	1.00	-405.58	.00	-23.36	.00	-54.50	.00
		Min Q-3	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Max T	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Min T	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Max M-2	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Min M-2	1.00	-405.58	.00	-23.36	.00	-54.50	.00
		Max M-3	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
		Min M-3	.00	-407.47	.00	-23.49	.00	-31.07	.00
	LG42	Max N	1.00	-321.80	.00	5.86	.00	33.37	.00
		Min N	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Max Q-2	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Min Q-2	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Max Q-3	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Min Q-3	1.00	-321.80	.00	5.86	.00	33.37	.00
		Max T	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Min T	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Max M-2	1.00	-321.80	.00	5.86	.00	33.37	.00
		Min M-2	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Max M-3	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
		Min M-3	.00	-323.68	.00	5.95	.00	27.45	.00
	LG43	Max N	1.00	-345.32	.00	-33.94	.00	-369.89	.00
		Min N	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Max Q-2	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Min Q-2	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Max Q-3	1.00	-345.32	.00	-33.94	.00	-369.89	.00
		Min Q-3	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Max T	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Min T	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Max M-2	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Min M-2	1.00	-345.32	.00	-33.94	.00	-369.89	.00
		Max M-3	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
		Min M-3	.00	-347.21	.00	-34.94	.00	-335.45	.00
13	LG11	Max N	2.00	-160.31	.00	21.01	.00	467.86	.00
		Min N	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Max Q-2	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Min Q-2	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Max Q-3	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Min Q-3	2.00	-160.31	.00	21.01	.00	467.86	.00
		Max T	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Min T	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Max M-2	2.00	-160.31	.00	21.01	.00	467.86	.00
		Min M-2	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Max M-3	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
		Min M-3	.00	-164.09	.00	29.32	.00	417.52	.00
	LG12	Max N	2.00	-159.31	.00	-1.61	.00	450.56	.00
		Min N	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Max Q-2	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Min Q-2	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Max Q-3	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Min Q-3	2.00	-159.31	.00	-1.61	.00	450.56	.00
		Max T	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Min T	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Max M-2	1.60	-160.07	.00	.05	.00	450.88	.00
		Min M-2	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Max M-3	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
		Min M-3	.00	-163.09	.00	6.70	.00	445.48	.00
	LG13	Max N	2.00	-158.83	.00	36.17	.00	461.14	.00
		Min N	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 16

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
13	LG13	Max Q-2	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Min Q-2	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Max Q-3	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Min Q-3	2.00	-158.83	.00	36.17	.00	461.14	.00
		Max T	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Min T	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Max M-2	2.00	-158.83	.00	36.17	.00	461.14	.00
		Min M-2	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Max M-3	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
		Min M-3	.00	-162.60	.00	44.41	.00	380.54	.00
	LG21	Max N	2.00	-146.38	.00	54.30	.00	432.08	.00
		Min N	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Max Q-2	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Min Q-2	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Max Q-3	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Min Q-3	2.00	-146.38	.00	54.30	.00	432.08	.00
		Max T	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Min T	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Max M-2	2.00	-146.38	.00	54.30	.00	432.08	.00
		Min M-2	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Max M-3	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
		Min M-3	.00	-150.16	.00	59.68	.00	318.06	.00
	LG22	Max N	2.00	-145.40	.00	31.80	.00	415.38	.00
		Min N	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Max Q-2	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Min Q-2	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Max Q-3	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Min Q-3	2.00	-145.40	.00	31.80	.00	415.38	.00
		Max T	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Min T	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Max M-2	2.00	-145.40	.00	31.80	.00	415.38	.00
		Min M-2	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Max M-3	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
		Min M-3	.00	-149.17	.00	37.18	.00	346.38	.00
	LG34	Max N	2.00	-76.04	.00	28.88	.00	231.80	.00
		Min N	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Max Q-2	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Min Q-2	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Max Q-3	2.00	-76.04	.00	28.88	.00	231.80	.00
		Min Q-3	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Max T	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Min T	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Max M-2	2.00	-76.04	.00	28.88	.00	231.80	.00
		Min M-2	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Max M-3	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
		Min M-3	.00	-79.82	.00	14.88	.00	188.06	.00
	LG37	Max N	2.00	-77.06	.00	47.72	.00	247.33	.00
		Min N	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Max Q-2	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Min Q-2	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Max Q-3	2.00	-77.06	.00	47.72	.00	247.33	.00
		Min Q-3	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Max T	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Min T	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Max M-2	2.00	-77.06	.00	47.72	.00	247.33	.00
		Min M-2	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Max M-3	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
		Min M-3	.00	-80.83	.00	33.72	.00	165.89	.00
	LG40	Max N	2.00	-160.65	.00	21.56	.00	470.86	.00
		Min N	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Max Q-2	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Min Q-2	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Max Q-3	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Min Q-3	2.00	-160.65	.00	21.56	.00	470.86	.00
		Max T	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Min T	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Max M-2	2.00	-160.65	.00	21.56	.00	470.86	.00
		Min M-2	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Max M-3	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
		Min M-3	.00	-164.43	.00	29.88	.00	419.42	.00
	LG41	Max N	2.00	-159.65	.00	-1.06	.00	453.57	.00
		Min N	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Max Q-2	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Min Q-2	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Max Q-3	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Min Q-3	2.00	-159.65	.00	-1.06	.00	453.57	.00
		Max T	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Min T	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Max M-2	1.70	-160.22	.00	.19	.00	453.70	.00
		Min M-2	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Max M-3	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
		Min M-3	.00	-163.42	.00	7.26	.00	447.38	.00
	LG42	Max N	2.00	-146.65	.00	54.74	.00	434.51	.00
		Min N	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Max Q-2	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Min Q-2	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Max Q-3	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Min Q-3	2.00	-146.65	.00	54.73	.00	434.51	.00
		Max T	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Min T	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Max M-2	2.00	-146.65	.00	54.74	.00	434.51	.00
		Min M-2	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Max M-3	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
		Min M-3	.00	-150.43	.00	60.12	.00	319.62	.00
	LG43	Max N	2.00	-75.77	.00	28.62	.00	229.50	.00
		Min N	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Max Q-2	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Min Q-2	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 17

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
13	LG43	Max Q-3	2.00	-75.77	.00	28.62	.00	229.50	.00
		Min Q-3	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Max T	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Min T	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Max M-2	2.00	-75.77	.00	28.62	.00	229.50	.00
		Min M-2	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Max M-3	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
		Min M-3	.00	-79.55	.00	14.62	.00	186.27	.00
14	LG11	Max N	1.59	-58.29	.00	154.99	.00	-182.56	.00
		Min N	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Max Q-2	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Min Q-2	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Max Q-3	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Min Q-3	1.59	-58.29	.00	154.99	.00	-182.56	.00
		Max T	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Min T	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Max M-2	1.59	-58.29	.00	154.99	.00	-182.56	.00
		Min M-2	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Max M-3	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
		Min M-3	.00	-62.75	.00	211.09	.00	-472.23	.00
	LG12	Max N	1.59	-56.41	.00	157.48	.00	-208.44	.00
		Min N	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Max Q-2	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Min Q-2	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Max Q-3	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Min Q-3	1.59	-56.41	.00	157.48	.00	-208.44	.00
		Max T	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Min T	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Max M-2	1.59	-56.41	.00	157.48	.00	-208.44	.00
		Min M-2	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Max M-3	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
		Min M-3	.00	-60.88	.00	213.57	.00	-502.05	.00
	LG13	Max N	1.59	-55.35	.00	157.27	.00	-194.02	.00
		Min N	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Max Q-2	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Min Q-2	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Max Q-3	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Min Q-3	1.59	-55.35	.00	157.27	.00	-194.02	.00
		Max T	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Min T	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Max M-2	1.59	-55.35	.00	157.27	.00	-194.02	.00
		Min M-2	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Max M-3	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
		Min M-3	.00	-59.82	.00	213.38	.00	-487.32	.00
	LG21	Max N	1.59	-67.03	.00	103.04	.00	-45.31	.00
		Min N	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Max Q-2	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Min Q-2	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Max Q-3	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Min Q-3	1.59	-67.03	.00	103.04	.00	-45.31	.00
		Max T	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Min T	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Max M-2	1.59	-67.03	.00	103.04	.00	-45.31	.00
		Min M-2	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Max M-3	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
		Min M-3	.00	-71.49	.00	141.73	.00	-238.63	.00
	LG22	Max N	1.59	-65.21	.00	105.48	.00	-70.87	.00
		Min N	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Max Q-2	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Min Q-2	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Max Q-3	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Min Q-3	1.59	-65.21	.00	105.48	.00	-70.87	.00
		Max T	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Min T	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Max M-2	1.59	-65.21	.00	105.48	.00	-70.87	.00
		Min M-2	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Max M-3	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
		Min M-3	.00	-69.67	.00	144.15	.00	-268.05	.00
	LG34	Max N	1.59	-54.42	.00	156.96	.00	-271.91	.00
		Min N	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Max Q-2	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Min Q-2	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Max Q-3	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Min Q-3	1.59	-54.42	.00	156.96	.00	-271.91	.00
		Max T	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Min T	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Max M-2	1.59	-54.42	.00	156.96	.00	-271.91	.00
		Min M-2	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Max M-3	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
		Min M-3	.00	-58.88	.00	213.00	.00	-564.66	.00
	LG37	Max N	1.59	-56.38	.00	154.55	.00	-248.00	.00
		Min N	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Max Q-2	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Min Q-2	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Max Q-3	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Min Q-3	1.59	-56.38	.00	154.55	.00	-248.00	.00
		Max T	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Min T	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Max M-2	1.59	-56.38	.00	154.55	.00	-248.00	.00
		Min M-2	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Max M-3	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
		Min M-3	.00	-60.85	.00	210.60	.00	-536.93	.00
	LG40	Max N	1.59	-58.52	.00	154.46	.00	-178.34	.00
		Min N	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Max Q-2	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Min Q-2	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Max Q-3	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Min Q-3	1.59	-58.52	.00	154.46	.00	-178.34	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 18

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
14	LG40	Max T	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Min T	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Max M-2	1.59	-58.52	.00	154.46	.00	-178.34	.00
		Min M-2	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Max M-3	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
		Min M-3	.00	-62.99	.00	210.56	.00	-467.17	.00
	LG41	Max N	1.59	-56.65	.00	156.94	.00	-204.22	.00
		Min N	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Max Q-2	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Min Q-2	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Max Q-3	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Min Q-3	1.59	-56.65	.00	156.94	.00	-204.22	.00
		Max T	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Min T	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Max M-2	1.59	-56.65	.00	156.94	.00	-204.22	.00
		Min M-2	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Max M-3	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
		Min M-3	.00	-61.11	.00	213.03	.00	-496.99	.00
	LG42	Max N	1.59	-67.16	.00	102.61	.00	-41.90	.00
		Min N	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Max Q-2	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Min Q-2	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Max Q-3	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Min Q-3	1.59	-67.16	.00	102.61	.00	-41.90	.00
		Max T	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Min T	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Max M-2	1.59	-67.16	.00	102.61	.00	-41.90	.00
		Min M-2	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Max M-3	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
		Min M-3	.00	-71.63	.00	141.31	.00	-234.54	.00
	LG43	Max N	1.59	-54.13	.00	157.40	.00	-275.24	.00
		Min N	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Max Q-2	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Min Q-2	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Max Q-3	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Min Q-3	1.59	-54.13	.00	157.40	.00	-275.24	.00
		Max T	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Min T	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Max M-2	1.59	-54.13	.00	157.40	.00	-275.24	.00
		Min M-2	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Max M-3	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
		Min M-3	.00	-58.59	.00	213.43	.00	-568.68	.00
17	LG11	Max N	3.18	-46.46	.00	-7.23	.00	306.47	.00
		Min N	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Max Q-2	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Min Q-2	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Max Q-3	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Min Q-3	3.18	-46.46	.00	-7.23	.00	306.47	.00
		Max T	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Min T	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Max M-2	2.70	-46.95	.00	-.02	.00	308.20	.00
		Min M-2	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Max M-3	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
		Min M-3	.00	-49.71	.00	40.83	.00	253.06	.00
	LG12	Max N	3.18	-44.58	.00	-4.67	.00	300.68	.00
		Min N	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Max Q-2	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Min Q-2	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Max Q-3	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Min Q-3	3.18	-44.58	.00	-4.67	.00	300.68	.00
		Max T	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Min T	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Max M-2	2.86	-44.91	.00	.13	.00	301.40	.00
		Min M-2	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Max M-3	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
		Min M-3	.00	-47.83	.00	43.37	.00	239.16	.00
	LG13	Max N	3.18	-43.52	.00	-4.92	.00	313.28	.00
		Min N	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Max Q-2	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Min Q-2	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Max Q-3	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Min Q-3	3.18	-43.52	.00	-4.92	.00	313.28	.00
		Max T	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Min T	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Max M-2	2.86	-43.85	.00	-.11	.00	314.07	.00
		Min M-2	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Max M-3	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
		Min M-3	.00	-46.77	.00	43.13	.00	252.52	.00
	LG21	Max N	3.18	-55.20	.00	-5.46	.00	243.96	.00
		Min N	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Max Q-2	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Min Q-2	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Max Q-3	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Min Q-3	3.18	-55.20	.00	-5.46	.00	243.96	.00
		Max T	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Min T	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Max M-2	2.54	-55.85	.00	-.16	.00	245.75	.00
		Min M-2	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Max M-3	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
		Min M-3	.00	-58.45	.00	21.06	.00	219.17	.00
	LG22	Max N	3.18	-53.37	.00	-2.94	.00	238.15	.00
		Min N	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Max Q-2	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Min Q-2	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Max Q-3	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Min Q-3	3.18	-53.37	.00	-2.94	.00	238.15	.00
		Max T	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Min T	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 19

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
17	LG22	Max M-2	2.86	-53.70	.00	-.29	.00	238.66	.00
		Min M-2	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Max M-3	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
		Min M-3	.00	-56.63	.00	23.56	.00	205.38	.00
	LG34	Max N	3.18	-42.59	.00	-4.96	.00	234.08	.00
		Min N	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Max Q-2	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Min Q-2	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Max Q-3	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Min Q-3	3.18	-42.59	.00	-4.96	.00	234.08	.00
		Max T	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Min T	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Max M-2	2.86	-42.91	.00	-.16	.00	234.89	.00
		Min M-2	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Max M-3	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
		Min M-3	.00	-45.84	.00	42.99	.00	173.59	.00
	LG37	Max N	3.18	-44.55	.00	-7.43	.00	238.59	.00
		Min N	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Max Q-2	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Min Q-2	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Max Q-3	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Min Q-3	3.18	-44.55	.00	-7.43	.00	238.59	.00
		Max T	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Min T	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Max M-2	2.70	-45.04	.00	-.23	.00	240.42	.00
		Min M-2	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Max M-3	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
		Min M-3	.00	-47.80	.00	40.55	.00	185.93	.00
	LG40	Max N	3.18	-46.69	.00	-7.78	.00	306.39	.00
		Min N	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Max Q-2	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Min Q-2	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Max Q-3	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Min Q-3	3.18	-46.69	.00	-7.78	.00	306.39	.00
		Max T	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Min T	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Max M-2	2.70	-47.18	.00	-.57	.00	308.38	.00
		Min M-2	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Max M-3	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
		Min M-3	.00	-49.94	.00	40.29	.00	254.70	.00
	LG41	Max N	3.18	-44.82	.00	-5.22	.00	300.60	.00
		Min N	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Max Q-2	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Min Q-2	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Max Q-3	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Min Q-3	3.18	-44.82	.00	-5.22	.00	300.60	.00
		Max T	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Min T	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Max M-2	2.86	-45.14	.00	-.41	.00	301.49	.00
		Min M-2	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Max M-3	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
		Min M-3	.00	-48.07	.00	42.83	.00	240.81	.00
	LG42	Max N	3.18	-55.33	.00	-5.90	.00	243.92	.00
		Min N	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Max Q-2	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Min Q-2	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Max Q-3	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Min Q-3	3.18	-55.33	.00	-5.90	.00	243.92	.00
		Max T	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Min T	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Max M-2	2.54	-55.98	.00	-.59	.00	245.99	.00
		Min M-2	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Max M-3	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
		Min M-3	.00	-58.58	.00	20.63	.00	220.51	.00
	LG43	Max N	3.18	-42.30	.00	-4.52	.00	234.25	.00
		Min N	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Max Q-2	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Min Q-2	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Max Q-3	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Min Q-3	3.18	-42.30	.00	-4.52	.00	234.25	.00
		Max T	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Min T	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Max M-2	2.86	-42.62	.00	.28	.00	234.92	.00
		Min M-2	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Max M-3	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
		Min M-3	.00	-45.55	.00	43.43	.00	172.36	.00
18	LG11	Max N	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min N	3.18	-50.46	.00	-49.43	.00	223.03	.00
		Max Q-2	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min Q-2	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Max Q-3	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min Q-3	3.18	-50.46	.00	-49.43	.00	223.03	.00
		Max T	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min T	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Max M-2	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min M-2	3.18	-50.46	.00	-49.43	.00	223.03	.00
		Max M-3	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
		Min M-3	.00	-47.35	.00	-3.05	.00	306.47	.00
	LG12	Max N	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min N	3.18	-48.17	.00	-47.22	.00	224.25	.00
		Max Q-2	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min Q-2	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Max Q-3	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min Q-3	3.18	-48.17	.00	-47.22	.00	224.25	.00
		Max T	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min T	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Max M-2	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min M-2	3.18	-48.17	.00	-47.22	.00	224.25	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 20

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
18	LG12	Max M-3	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
		Min M-3	.00	-45.06	.00	-.85	.00	300.68	.00
	LG13	Max N	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min N	3.18	-47.17	.00	-47.65	.00	235.49	.00
		Max Q-2	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min Q-2	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Max Q-3	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min Q-3	3.18	-47.17	.00	-47.65	.00	235.49	.00
		Max T	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min T	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Max M-2	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min M-2	3.18	-47.17	.00	-47.65	.00	235.49	.00
		Max M-3	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
		Min M-3	.00	-44.06	.00	-1.28	.00	313.28	.00
	LG21	Max N	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min N	3.18	-58.75	.00	-46.15	.00	170.92	.00
		Max Q-2	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min Q-2	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Max Q-3	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min Q-3	3.18	-58.75	.00	-46.15	.00	170.92	.00
		Max T	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min T	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Max M-2	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min M-2	3.18	-58.75	.00	-46.15	.00	170.92	.00
		Max M-3	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
		Min M-3	.00	-55.65	.00	.21	.00	243.96	.00
	LG22	Max N	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Min N	3.18	-56.52	.00	-43.97	.00	172.02	.00
		Max Q-2	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Min Q-2	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Max Q-3	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Min Q-3	3.18	-56.52	.00	-43.97	.00	172.02	.00
		Max T	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Min T	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Max M-2	.16	-53.57	.00	.06	.00	238.34	.00
		Min M-2	3.18	-56.52	.00	-43.97	.00	172.02	.00
		Max M-3	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
		Min M-3	.00	-53.42	.00	2.38	.00	238.15	.00
	LG34	Max N	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min N	3.18	-46.26	.00	-26.24	.00	190.00	.00
		Max Q-2	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min Q-2	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Max Q-3	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min Q-3	3.18	-46.26	.00	-26.24	.00	190.00	.00
		Max T	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min T	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Max M-2	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min M-2	3.18	-46.26	.00	-26.24	.00	190.00	.00
		Max M-3	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
		Min M-3	.00	-43.15	.00	-1.48	.00	234.08	.00
	LG37	Max N	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min N	3.18	-48.62	.00	-28.34	.00	187.86	.00
		Max Q-2	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min Q-2	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Max Q-3	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min Q-3	3.18	-48.62	.00	-28.34	.00	187.86	.00
		Max T	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min T	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Max M-2	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min M-2	3.18	-48.62	.00	-28.34	.00	187.86	.00
		Max M-3	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
		Min M-3	.00	-45.52	.00	-3.57	.00	238.59	.00
	LG40	Max N	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min N	3.18	-50.78	.00	-49.93	.00	221.38	.00
		Max Q-2	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min Q-2	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Max Q-3	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min Q-3	3.18	-50.78	.00	-49.93	.00	221.38	.00
		Max T	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min T	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Max M-2	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min M-2	3.18	-50.78	.00	-49.93	.00	221.38	.00
		Max M-3	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
		Min M-3	.00	-47.68	.00	-3.54	.00	306.39	.00
	LG41	Max N	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min N	3.18	-48.50	.00	-47.71	.00	222.60	.00
		Max Q-2	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min Q-2	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Max Q-3	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min Q-3	3.18	-48.50	.00	-47.71	.00	222.60	.00
		Max T	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min T	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Max M-2	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min M-2	3.18	-48.50	.00	-47.71	.00	222.60	.00
		Max M-3	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
		Min M-3	.00	-45.39	.00	-1.35	.00	300.60	.00
	LG42	Max N	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min N	3.18	-58.96	.00	-46.56	.00	169.59	.00
		Max Q-2	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min Q-2	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Max Q-3	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min Q-3	3.18	-58.96	.00	-46.56	.00	169.59	.00
		Max T	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min T	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Max M-2	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min M-2	3.18	-58.96	.00	-46.56	.00	169.59	.00
		Max M-3	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00
		Min M-3	.00	-55.85	.00	-.20	.00	243.92	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 21

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
18	LG43	Max N	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min N	3.18	-45.90	.00	-25.85	.00	191.40	.00
		Max Q-2	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min Q-2	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Max Q-3	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min Q-3	3.18	-45.90	.00	-25.85	.00	191.40	.00
		Max T	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min T	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Max M-2	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min M-2	3.18	-45.90	.00	-25.85	.00	191.40	.00
		Max M-3	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
		Min M-3	.00	-42.79	.00	-1.09	.00	234.25	.00
21	LG11	Max N	7.00	-151.52	.00	43.36	.00	403.66	.00
		Min N	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-151.52	.00	43.36	.00	403.66	.00
		Max T	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Min T	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-151.52	.00	43.36	.00	403.66	.00
		Min M-2	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-163.32	.00	71.15	.00	.00	.00
	LG12	Max N	7.00	-149.15	.00	41.27	.00	388.38	.00
		Min N	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-149.15	.00	41.27	.00	388.38	.00
		Max T	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Min T	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-149.15	.00	41.27	.00	388.38	.00
		Min M-2	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-160.95	.00	68.91	.00	.00	.00
	LG13	Max N	7.00	-149.48	.00	40.11	.00	379.96	.00
		Min N	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-149.48	.00	40.11	.00	379.96	.00
		Max T	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Min T	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-149.48	.00	40.11	.00	379.96	.00
		Min M-2	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-161.28	.00	67.69	.00	.00	.00
	LG21	Max N	7.00	-148.96	.00	52.35	.00	434.47	.00
		Min N	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-148.96	.00	52.35	.00	434.47	.00
		Max T	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Min T	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-148.96	.00	52.35	.00	434.47	.00
		Min M-2	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-160.75	.00	70.89	.00	.00	.00
	LG22	Max N	7.00	-146.63	.00	50.31	.00	419.55	.00
		Min N	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-146.63	.00	50.31	.00	419.55	.00
		Max T	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Min T	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-146.63	.00	50.31	.00	419.55	.00
		Min M-2	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-158.42	.00	68.71	.00	.00	.00
	LG34	Max N	7.00	-78.41	.00	45.79	.00	147.09	.00
		Min N	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Max Q-3	7.00	-78.41	.00	45.79	.00	147.09	.00
		Min Q-3	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Max T	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Min T	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-78.41	.00	45.79	.00	147.09	.00
		Min M-2	.70	-89.03	.00	1.14	.00	-.96	.00
		Max M-3	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-90.21	.00	-3.86	.00	.00	.00
	LG37	Max N	7.00	-80.69	.00	47.96	.00	162.59	.00
		Min N	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Max Q-3	7.00	-80.69	.00	47.96	.00	162.59	.00
		Min Q-3	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Max T	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Min T	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-80.69	.00	47.96	.00	162.59	.00
		Min M-2	.35	-91.90	.00	.87	.00	-.13	.00
		Max M-3	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-92.48	.00	-1.62	.00	.00	.00
	LG40	Max N	7.00	-152.04	.00	44.02	.00	408.43	.00
		Min N	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 22

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
21	LG40	Max Q-2	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-152.04	.00	44.02	.00	408.43	.00
		Max T	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Min T	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-152.04	.00	44.02	.00	408.43	.00
		Min M-2	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-163.84	.00	71.85	.00	.00	.00
	LG41	Max N	7.00	-149.67	.00	41.93	.00	393.14	.00
		Min N	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-149.67	.00	41.93	.00	393.14	.00
		Max T	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Min T	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-149.67	.00	41.93	.00	393.14	.00
		Min M-2	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-161.46	.00	69.61	.00	.00	.00
	LG42	Max N	7.00	-149.38	.00	52.89	.00	438.36	.00
		Min N	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Min Q-3	7.00	-149.38	.00	52.89	.00	438.36	.00
		Max T	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Min T	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-149.38	.00	52.89	.00	438.36	.00
		Min M-2	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-161.17	.00	71.47	.00	.00	.00
	LG43	Max N	7.00	-78.00	.00	45.26	.00	143.26	.00
		Min N	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Max Q-3	7.00	-78.00	.00	45.26	.00	143.26	.00
		Min Q-3	.00	-89.80	.00	-4.41	.00	.00	.00
		Max T	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Min T	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Max M-2	7.00	-78.00	.00	45.26	.00	143.26	.00
		Min M-2	.70	-88.62	.00	.59	.00	-1.34	.00
		Max M-3	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-89.80	.00	-4.40	.00	.00	.00
22	LG11	Max N	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-3	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-2	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
	LG12	Max N	.28	-21.53	.00	149.51	.00	.00	.00
		Min N	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Max Q-2	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Min Q-2	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Max Q-3	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Min Q-3	.28	-21.53	.00	149.51	.00	.00	.00
		Max T	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Min T	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Max M-2	.28	-21.53	.00	149.51	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Max M-3	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
		Min M-3	.00	-21.53	.00	149.73	.00	-41.90	.00
	LG13	Max N	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min N	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-2	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-2	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-3	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-3	.28	21.53	.00	149.45	.00	.00	.00
		Max T	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min T	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-2	.28	21.53	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-3	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min M-3	.00	21.53	.00	149.67	.00	-41.88	.00
	LG21	Max N	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-3	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-2	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
	LG22	Max N	.28	-21.53	.00	149.57	.00	.00	.00
		Min N	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Max Q-2	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Min Q-2	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 23

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
22	LG22	Max Q-3	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Min Q-3	.28	-21.53	.00	149.57	.00	.00	.00
		Max T	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Min T	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Max M-2	.28	-21.53	.00	149.57	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Max M-3	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
		Min M-3	.00	-21.53	.00	149.79	.00	-41.91	.00
	LG34	Max N	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Min N	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max Q-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min Q-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max Q-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min Q-3	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Max T	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min T	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max M-2	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max M-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min M-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
	LG37	Max N	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Min N	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Max Q-2	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Min Q-2	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Max Q-3	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Min Q-3	.28	21.53	.00	41.66	.00	.00	.00
		Max T	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Min T	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Max M-2	.28	21.53	.00	41.66	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Max M-3	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
		Min M-3	.00	21.53	.00	41.89	.00	-11.70	.00
	LG40	Max N	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-3	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-2	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
	LG41	Max N	.28	-21.53	.00	149.52	.00	.00	.00
		Min N	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Max Q-2	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Min Q-2	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Max Q-3	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Min Q-3	.28	-21.53	.00	149.52	.00	.00	.00
		Max T	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Min T	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Max M-2	.28	-21.53	.00	149.52	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Max M-3	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
		Min M-3	.00	-21.53	.00	149.74	.00	-41.90	.00
	LG42	Max N	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max Q-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min Q-3	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min T	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-2	.28	5.66	.00	149.45	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Max M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
		Min M-3	.00	5.66	.00	149.67	.00	-41.88	.00
	LG43	Max N	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Min N	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max Q-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min Q-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max Q-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min Q-3	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Max T	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min T	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max M-2	.28	-1.28	.00	41.66	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Max M-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
		Min M-3	.00	-1.28	.00	41.88	.00	-11.70	.00
23	LG11	Max N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-3	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Max T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-2	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
	LG12	Max N	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min N	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max Q-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min Q-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max Q-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min Q-3	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 24

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
23	LG12	Max T	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min T	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max M-2	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max M-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min M-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
	LG13	Max N	.28	5.94	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-2	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-2	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-3	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-3	.28	5.94	.00	44.13	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min T	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-2	.28	5.94	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-3	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min M-3	.00	5.94	.00	44.21	.00	-12.37	.00
	LG21	Max N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-3	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Max T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-2	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
	LG22	Max N	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Min N	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Max Q-2	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Min Q-2	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Max Q-3	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Min Q-3	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00
		Max T	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Min T	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Max M-2	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Max M-3	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
		Min M-3	.00	-5.94	.00	44.24	.00	-12.38	.00
	LG34	Max N	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min N	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-3	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Max T	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min T	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-2	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min M-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
	LG37	Max N	.28	5.94	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min N	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-2	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-2	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-3	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-3	.28	5.94	.00	20.95	.00	.00	.00
		Max T	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min T	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-2	.28	5.94	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-3	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min M-3	.00	5.94	.00	21.03	.00	-5.88	.00
	LG40	Max N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-3	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Max T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-2	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
	LG41	Max N	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min N	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max Q-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min Q-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max Q-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min Q-3	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00
		Max T	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min T	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max M-2	.28	-5.94	.00	44.18	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Max M-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
		Min M-3	.00	-5.94	.00	44.25	.00	-12.38	.00
	LG42	Max N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min N	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max Q-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min Q-3	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Max T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min T	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 25

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
23	LG42	Max M-2	.28	1.46	.00	44.13	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Max M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
		Min M-3	.00	1.46	.00	44.21	.00	-12.37	.00
	LG43	Max N	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min N	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max Q-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min Q-3	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Max T	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min T	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-2	.28	-.61	.00	20.95	.00	.00	.00
		Min M-2	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Max M-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00
		Min M-3	.00	-.61	.00	21.03	.00	-5.88	.00

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
1	LG1	-47.128	.000	176.726	.000	.000	.000
	LG2	-37.668	.000	168.385	.000	.000	.000
	LG3	20.007	.000	103.163	.000	.000	.000
	LG4	-.406	.000	127.498	.000	.000	.000
	LG5	-40.670	.000	167.251	.000	.000	.000
	LG6	-34.110	.000	163.146	.000	.000	.000
	LG10	-57.216	.000	352.769	.000	.000	.000
	LG11	-50.318	.000	350.278	.000	.000	.000
	LG12	-62.513	.000	351.280	.000	.000	.000
	LG13	-45.014	.000	351.766	.000	.000	.000
	LG14	-52.139	.000	225.107	.000	.000	.000
	LG15	-48.487	.000	222.512	.000	.000	.000
	LG16	-59.083	.000	223.547	.000	.000	.000
	LG17	-41.536	.000	224.071	.000	.000	.000
	LG20	9.279	.000	279.033	.000	.000	.000
	LG21	16.278	.000	276.598	.000	.000	.000
	LG22	3.985	.000	277.582	.000	.000	.000
	LG23	21.578	.000	278.047	.000	.000	.000
	LG24	14.854	.000	151.361	.000	.000	.000
	LG25	18.587	.000	148.826	.000	.000	.000
	LG26	7.904	.000	149.842	.000	.000	.000
	LG27	25.543	.000	150.344	.000	.000	.000
	LG30	-50.417	.000	343.424	.000	.000	.000
	LG31	-43.554	.000	340.993	.000	.000	.000
	LG32	-55.764	.000	341.975	.000	.000	.000
	LG33	-38.199	.000	342.443	.000	.000	.000
	LG34	-45.693	.000	215.762	.000	.000	.000
	LG35	-42.091	.000	213.231	.000	.000	.000
	LG36	-52.695	.000	214.245	.000	.000	.000
	LG37	-35.080	.000	214.749	.000	.000	.000
10	LG1	-17.058	.000	414.904	.000	.000	.000
	LG2	-19.139	.000	405.647	.000	.000	.000
	LG3	-3.419	.000	332.593	.000	.000	.000
	LG4	-11.576	.000	359.904	.000	.000	.000
	LG5	-40.733	.000	329.786	.000	.000	.000
	LG6	-32.283	.000	358.372	.000	.000	.000
	LG10	-15.688	.000	461.409	.000	.000	.000
	LG11	-9.798	.000	459.484	.000	.000	.000
	LG12	-4.516	.000	460.856	.000	.000	.000
	LG13	-20.981	.000	460.037	.000	.000	.000
	LG14	-16.200	.000	593.065	.000	.000	.000
	LG15	-7.300	.000	591.304	.000	.000	.000
	LG16	-3.551	.000	592.574	.000	.000	.000
	LG17	-19.961	.000	591.794	.000	.000	.000
	LG20	-1.811	.000	378.928	.000	.000	.000
	LG21	4.102	.000	377.040	.000	.000	.000
	LG22	9.425	.000	378.390	.000	.000	.000
	LG23	-7.147	.000	377.578	.000	.000	.000
	LG24	-2.821	.000	510.622	.000	.000	.000
	LG25	6.128	.000	508.897	.000	.000	.000
	LG26	9.907	.000	510.146	.000	.000	.000
	LG27	-6.612	.000	509.373	.000	.000	.000
	LG30	-39.414	.000	376.392	.000	.000	.000
	LG31	-33.524	.000	374.494	.000	.000	.000
	LG32	-28.217	.000	375.859	.000	.000	.000
	LG33	-44.732	.000	375.026	.000	.000	.000
	LG34	-39.420	.000	508.052	.000	.000	.000
	LG35	-30.504	.000	506.322	.000	.000	.000
	LG36	-26.736	.000	507.584	.000	.000	.000
	LG37	-43.199	.000	506.790	.000	.000	.000
21	LG1	64.185	.000	159.228	.000	.000	.000
	LG2	56.808	.000	152.934	.000	.000	.000
	LG3	63.102	.000	156.414	.000	.000	.000
	LG4	56.254	.000	151.403	.000	.000	.000
	LG5	1.745	.000	94.763	.000	.000	.000
	LG6	22.138	.000	117.082	.000	.000	.000
	LG10	63.899	.000	158.904	.000	.000	.000
	LG11	69.121	.000	163.319	.000	.000	.000
	LG12	67.030	.000	160.946	.000	.000	.000
	LG13	65.995	.000	161.279	.000	.000	.000
	LG14	59.335	.000	154.910	.000	.000	.000
	LG15	64.791	.000	159.266	.000	.000	.000
	LG16	62.633	.000	156.960	.000	.000	.000
	LG17	61.497	.000	157.217	.000	.000	.000
	LG20	63.218	.000	156.432	.000	.000	.000

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 26

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
21	LG21	68.316	.000	160.755	.000	.000	.000
	LG22	66.280	.000	158.421	.000	.000	.000
	LG23	65.259	.000	158.768	.000	.000	.000
	LG24	58.653	.000	152.409	.000	.000	.000
	LG25	63.981	.000	156.670	.000	.000	.000
	LG26	61.879	.000	154.405	.000	.000	.000
	LG27	60.759	.000	154.676	.000	.000	.000
	LG30	1.168	.000	94.208	.000	.000	.000
	LG31	6.424	.000	98.537	.000	.000	.000
	LG32	4.323	.000	96.190	.000	.000	.000
	LG33	3.273	.000	96.555	.000	.000	.000
	LG34	-3.550	.000	90.209	.000	.000	.000
	LG35	1.941	.000	94.471	.000	.000	.000
	LG36	-.228	.000	92.195	.000	.000	.000
	LG37	-1.379	.000	92.485	.000	.000	.000
ΣKräfte	LG1	.000	.000	750.858			
ΣLasten		.000	.000	750.859			
ΣKräfte	LG2	.000	.000	726.965			
ΣLasten		.000	.000	726.967			
ΣKräfte	LG3	79.690	.000	592.169			
ΣLasten		79.690	.000	592.170			
ΣKräfte	LG4	44.272	.000	638.805			
ΣLasten		44.272	.000	638.806			
ΣKräfte	LG5	-79.658	.000	591.800			
ΣLasten		-79.658	.000	591.801			
ΣKräfte	LG6	-44.255	.000	638.600			
ΣLasten		-44.255	.000	638.601			
ΣKräfte	LG10	-9.005	.000	973.082			
ΣLasten		-9.004	.000	973.083			
ΣKräfte	LG11	9.004	.000	973.082			
ΣLasten		9.005	.000	973.083			
ΣKräfte	LG12	.000	.000	973.082			
ΣLasten		.000	.000	973.083			
ΣKräfte	LG13	.000	.000	973.082			
ΣLasten		.000	.000	973.083			
ΣKräfte	LG14	-9.005	.000	973.082			
ΣLasten		-9.004	.000	973.083			
ΣKräfte	LG15	9.004	.000	973.082			
ΣLasten		9.005	.000	973.083			
ΣKräfte	LG16	.000	.000	973.082			
ΣLasten		.000	.000	973.083			
ΣKräfte	LG17	.000	.000	973.082			
ΣLasten		.000	.000	973.083			
ΣKräfte	LG20	70.686	.000	814.393			
ΣLasten		70.686	.000	814.394			
ΣKräfte	LG21	88.695	.000	814.393			
ΣLasten		88.695	.000	814.394			
ΣKräfte	LG22	79.690	.000	814.393			
ΣLasten		79.690	.000	814.394			
ΣKräfte	LG23	79.690	.000	814.393			
ΣLasten		79.690	.000	814.394			
ΣKräfte	LG24	70.686	.000	814.393			
ΣLasten		70.686	.000	814.394			
ΣKräfte	LG25	88.695	.000	814.393			
ΣLasten		88.695	.000	814.394			
ΣKräfte	LG26	79.690	.000	814.393			
ΣLasten		79.690	.000	814.394			
ΣKräfte	LG27	79.690	.000	814.393			
ΣLasten		79.690	.000	814.394			
ΣKräfte	LG30	-88.663	.000	814.024			
ΣLasten		-88.663	.000	814.025			
ΣKräfte	LG31	-70.654	.000	814.024			
ΣLasten		-70.654	.000	814.025			
ΣKräfte	LG32	-79.658	.000	814.024			
ΣLasten		-79.658	.000	814.025			
ΣKräfte	LG33	-79.658	.000	814.024			
ΣLasten		-79.658	.000	814.025			
ΣKräfte	LG34	-88.663	.000	814.024			
ΣLasten		-88.663	.000	814.025			
ΣKräfte	LG35	-70.654	.000	814.024			
ΣLasten		-70.654	.000	814.025			
ΣKräfte	LG36	-79.658	.000	814.024			
ΣLasten		-79.658	.000	814.025			
ΣKräfte	LG37	-79.658	.000	814.024			
ΣLasten		-79.658	.000	814.025			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 27

GLOBALE KNOTENVERFORMUNGEN

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Verschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z	Verdrehungen [mrad] ϕ_X	ϕ_Y	ϕ_Z
4	LG73	43.62789	.00000	.41109	.00000	-4.82117	.00000
	LG80	-2.38009	.00000	.39077	.00000	-2.55552	.00000
	LG81	9.69853	.00000	.38577	.00000	-2.78340	.00000
	LG82	3.71829	.00000	.38781	.00000	-3.51081	.00000
	LG83	3.60252	.00000	.38874	.00000	-1.82666	.00000
	LG84	-11.60823	.00000	.23221	.00000	-1.90839	.00000
	LG85	.52382	.00000	.22701	.00000	-2.46703	.00000
	LG86	-5.40934	.00000	.22912	.00000	-3.03126	.00000
	LG87	-5.67401	.00000	.23010	.00000	-1.34266	.00000
14	LG73	49.33226	.00000	.65220	.00000	.86573	.00000
	LG80	1.27005	.00000	.32842	.00000	1.68157	.00000
	LG81	13.12051	.00000	.32715	.00000	1.10698	.00000
	LG82	8.13883	.00000	.32856	.00000	2.16166	.00000
	LG83	6.25172	.00000	.32701	.00000	.62549	.00000
	LG84	-8.09211	.00000	.49233	.00000	2.01642	.00000
	LG85	4.15626	.00000	.49138	.00000	1.74143	.00000
	LG86	-.95098	.00000	.49262	.00000	2.64392	.00000
	LG87	-2.98620	.00000	.49109	.00000	1.11255	.00000
22	LG73	48.72477	.00000	.26349	.00000	1.96072	.00000
	LG80	5.29085	.00000	.10405	.00000	1.76396	.00000
	LG81	15.00193	.00000	.11107	.00000	1.10122	.00000
	LG82	12.74421	.00000	.10721	.00000	1.13817	.00000
	LG83	7.54632	.00000	.10791	.00000	1.72724	.00000
	LG84	-2.45086	.00000	.09806	.00000	2.27365	.00000
	LG85	8.30548	.00000	.10494	.00000	1.49272	.00000
	LG86	5.58863	.00000	.10119	.00000	1.58417	.00000
	LG87	.26262	.00000	.10181	.00000	2.18252	.00000
23	LG73	26.66352	.00000	2.52613	.00000	-4.55249	.00000
	LG80	-7.92138	.00000	.54667	.00000	-.61797	.00000
	LG81	1.75182	.00000	1.07792	.00000	-1.68647	.00000
	LG82	-5.67315	.00000	.92490	.00000	-1.37803	.00000
	LG83	-.49178	.00000	.69980	.00000	-.92666	.00000
	LG84	-13.23326	.00000	-.26415	.00000	.82021	.00000
	LG85	-4.56214	.00000	.31433	.00000	-.34299	.00000
	LG86	-11.42802	.00000	.14068	.00000	.00684	.00000
	LG87	-6.36364	.00000	-.09048	.00000	.47034	.00000
24	LG73	34.90965	.00000	2.63130	.00000	-5.13848	.00000
	LG80	-6.25693	.00000	1.24797	.00000	-2.40438	.00000
	LG81	5.04579	.00000	1.53322	.00000	-2.98282	.00000
	LG82	-2.19110	.00000	1.75275	.00000	-3.41894	.00000
	LG83	.98427	.00000	1.02825	.00000	-1.96815	.00000
	LG84	-13.82479	.00000	.48385	.00000	-.86429	.00000
	LG85	-3.11803	.00000	.91345	.00000	-1.73180	.00000
	LG86	-9.98912	.00000	1.06267	.00000	-2.02706	.00000
	LG87	-6.95052	.00000	.33435	.00000	-.56867	.00000
25	LG73	36.16255	.00000	-2.29811	.00000	-5.50943	.00000
	LG80	1.60550	.00000	-.02795	.00000	-.51034	.00000
	LG81	10.43427	.00000	-.53689	.00000	-1.52348	.00000
	LG82	9.13995	.00000	-.23277	.00000	-.91873	.00000
	LG83	2.89726	.00000	-.33209	.00000	-1.11515	.00000
	LG84	-5.19856	.00000	.69350	.00000	.73893	.00000
	LG85	4.88458	.00000	.20461	.00000	-.23356	.00000
	LG86	3.02292	.00000	.49606	.00000	.34614	.00000
	LG87	-3.34047	.00000	.40211	.00000	.16035	.00000
26	LG73	46.29708	.00000	-1.15683	.00000	-3.18031	.00000
	LG80	2.81538	.00000	.35646	.00000	.41896	.00000
	LG81	13.30801	.00000	-.02294	.00000	-.33530	.00000
	LG82	10.45236	.00000	.46815	.00000	.64330	.00000
	LG83	5.66904	.00000	-.13491	.00000	-.56015	.00000
	LG84	-5.57074	.00000	.94185	.00000	1.59083	.00000
	LG85	5.88600	.00000	.68122	.00000	1.07359	.00000
	LG86	2.61597	.00000	1.11131	.00000	1.93058	.00000
	LG87	-2.30392	.00000	.51154	.00000	.73355	.00000
Maxi	LG73	49.33226	.00000	42.56937	.00000	6.14944	.00000
Mini	LG73	.00000	.00000	-2.29811	.00000	-11.57390	.00000
Maxi	LG80	5.29085	.00000	21.81313	.00000	3.11995	.00000
Mini	LG80	-7.92138	.00000	-.02795	.00000	-3.26028	.00000
Maxi	LG81	15.00193	.00000	20.73262	.00000	2.90140	.00000
Mini	LG81	.00000	.00000	-.53689	.00000	-3.76774	.00000
Maxi	LG82	12.74421	.00000	25.74613	.00000	3.63282	.00000
Mini	LG82	-5.67315	.00000	-.23277	.00000	-3.85251	.00000
Maxi	LG83	7.54632	.00000	19.39028	.00000	2.88907	.00000
Mini	LG83	-.49483	.00000	-.33209	.00000	-2.85712	.00000
Maxi	LG84	.00000	.00000	21.06049	.00000	3.08169	.00000
Mini	LG84	-13.82479	.00000	-.26415	.00000	-3.08648	.00000
Maxi	LG85	8.30548	.00000	21.72717	.00000	3.10597	.00000
Mini	LG85	-4.56232	.00000	.00000	.00000	-3.25021	.00000
Maxi	LG86	5.58863	.00000	25.86535	.00000	3.71524	.00000
Mini	LG86	-11.42802	.00000	.00000	.00000	-3.80291	.00000
Maxi	LG87	.26262	.00000	18.76835	.00000	2.90384	.00000
Mini	LG87	-6.95307	.00000	-.09048	.00000	-2.64616	.00000

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z
6	LG70	Max u-X	2.70	19.13050	.00000	57.61198
		Min u-X	.00	18.55558	.00000	50.80664
		Max u-Y	.00	18.55558	.00000	50.80664
		Min u-Y	.00	18.55558	.00000	50.80664
		Max u-Z	2.70	19.13050	.00000	57.61198
		Min u-Z	.00	18.55558	.00000	50.80664
	LG71	Max u-X	2.70	12.29238	.00000	53.62556
		Min u-X	.00	11.74773	.00000	47.03072
		Max u-Y	.00	11.74773	.00000	47.03072
		Min u-Y	.00	11.74773	.00000	47.03072

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 28

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z
6	LG71	Max u-Z	2.70	12.29238	.00000	53.62556
		Min u-Z	.00	11.74773	.00000	47.03072
	LG72	Max u-X	2.86	9.90923	.00000	58.45272
		Min u-X	.00	9.26174	.00000	50.86545
		Max u-Y	.00	9.26174	.00000	50.86545
		Min u-Y	.00	9.26174	.00000	50.86545
		Max u-Z	2.86	9.90923	.00000	58.45272
		Min u-Z	.00	9.26174	.00000	50.86545
	LG73	Max u-X	2.54	46.50972	.00000	35.23346
		Min u-X	.00	46.18330	.00000	31.00090
		Max u-Y	.00	46.18330	.00000	31.00090
		Min u-Y	.00	46.18330	.00000	31.00090
		Max u-Z	2.70	46.50871	.00000	35.25215
		Min u-Z	.00	46.18330	.00000	31.00090
7	LG70	Max u-X	3.18	20.12527	.00000	45.43341
		Min u-X	.00	19.10657	.00000	57.37548
		Max u-Y	.00	19.10657	.00000	57.37548
		Min u-Y	.00	19.10657	.00000	57.37548
		Max u-Z	.00	19.10657	.00000	57.37548
		Min u-Z	3.18	20.12527	.00000	45.43341
	LG71	Max u-X	3.18	13.19989	.00000	42.35801
		Min u-X	.00	12.27044	.00000	53.43584
		Max u-Y	.00	12.27044	.00000	53.43584
		Min u-Y	.00	12.27044	.00000	53.43584
		Max u-Z	.00	12.27044	.00000	53.43584
		Min u-Z	3.18	13.19989	.00000	42.35801
	LG72	Max u-X	3.18	10.86817	.00000	47.00988
		Min u-X	.00	9.89717	.00000	58.33278
		Max u-Y	.00	9.89717	.00000	58.33278
		Min u-Y	.00	9.89717	.00000	58.33278
		Max u-Z	.00	9.89717	.00000	58.33278
		Min u-Z	3.18	10.86817	.00000	47.00988
	LG73	Max u-X	3.18	47.09988	.00000	27.53458
		Min u-X	.00	46.48991	.00000	35.12773
		Max u-Y	.00	46.48991	.00000	35.12773
		Min u-Y	.00	46.48991	.00000	35.12773
		Max u-Z	.00	46.48991	.00000	35.12773
		Min u-Z	3.18	47.09988	.00000	27.53458
17	LG70	Max u-X	2.86	27.09246	.00000	51.64748
		Min u-X	.00	26.45183	.00000	43.85798
		Max u-Y	.00	26.45183	.00000	43.85798
		Min u-Y	.00	26.45183	.00000	43.85798
		Max u-Z	3.02	27.09195	.00000	51.66623
		Min u-Z	.00	26.45183	.00000	43.85798
	LG71	Max u-X	3.02	19.17574	.00000	53.19223
		Min u-X	.00	18.47689	.00000	44.74101
		Max u-Y	.00	18.47689	.00000	44.74101
		Min u-Y	.00	18.47689	.00000	44.74101
		Max u-Z	3.18	19.17388	.00000	53.19390
		Min u-Z	.00	18.47689	.00000	44.74101
	LG72	Max u-X	3.18	20.32324	.00000	50.68163
		Min u-X	.00	19.61680	.00000	42.12782
		Max u-Y	.00	19.61680	.00000	42.12782
		Min u-Y	.00	19.61680	.00000	42.12782
		Max u-Z	3.18	20.32324	.00000	50.68163
		Min u-Z	.00	19.61680	.00000	42.12782
	LG73	Max u-X	2.54	45.22247	.00000	42.76820
		Min u-X	.00	44.84369	.00000	37.95230
		Max u-Y	.00	44.84369	.00000	37.95230
		Min u-Y	.00	44.84369	.00000	37.95230
		Max u-Z	2.70	45.22024	.00000	42.77190
		Min u-Z	.00	44.84369	.00000	37.95230
18	LG70	Max u-X	3.18	27.86712	.00000	42.20349
		Min u-X	.00	27.08755	.00000	51.64031
		Max u-Y	.00	27.08755	.00000	51.64031
		Min u-Y	.00	27.08755	.00000	51.64031
		Max u-Z	.00	27.08755	.00000	51.64031
		Min u-Z	3.18	27.86712	.00000	42.20349
	LG71	Max u-X	3.18	19.93082	.00000	44.05038
		Min u-X	.00	19.17388	.00000	53.19390
		Max u-Y	.00	19.17388	.00000	53.19390
		Min u-Y	.00	19.17388	.00000	53.19390
		Max u-Z	.00	19.17388	.00000	53.19390
		Min u-Z	3.18	19.93082	.00000	44.05038
	LG72	Max u-X	3.18	21.02257	.00000	42.20769
		Min u-X	.16	20.32316	.00000	50.65986
		Max u-Y	.00	20.32324	.00000	50.68163
		Min u-Y	.00	20.32324	.00000	50.68163
		Max u-Z	.00	20.32324	.00000	50.68163
		Min u-Z	3.18	21.02257	.00000	42.20769
	LG73	Max u-X	3.18	45.94468	.00000	33.38781
		Min u-X	.00	45.19491	.00000	42.56937
		Max u-Y	.00	45.19491	.00000	42.56937
		Min u-Y	.00	45.19491	.00000	42.56937
		Max u-Z	.00	45.19491	.00000	42.56937
		Min u-Z	3.18	45.94468	.00000	33.38781

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 29

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

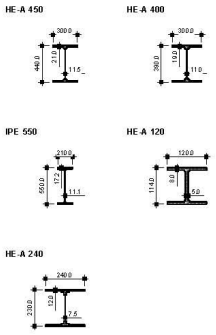
BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
Alle

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - Eigengewicht+1.5*0.9*(Schnee+Wind 90°)
LG2 - Eigengewicht+1.5*(Schnee+0,5*Wind 90°)
LG3 - Eigengewicht+1.5*0.9*(Schnee+Wind 0° von links)
LG4 - Eigengewicht+1.5*(Schnee+0.5*Wind 0° von links)
LG5 - Eigengewicht+1.5*0.9(Schnee+Wind 0° von rechts)
LG6 - Eigengewicht+1.5*(Schnee+0.5*Wind 0° von rechts)
LG10 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. l.
LG11 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. r.
LG12 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG13 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG14 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. l.
LG15 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. r.
LG16 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG17 - Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. i.
LG20 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. l.
LG21 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. r.
LG22 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG23 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG24 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. l.
LG25 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. r.
LG26 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG27 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. i.
LG30 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. l.
LG31 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. r.
LG32 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG33 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG34 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. l.
LG35 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. r.
LG36 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG37 - Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. i.
LG40 - LG 11 + Imperfektion
LG41 - LG 12 + Imperfektion
LG42 - LG21 + Imperfektion
LG43 - LG 34 + Imperfektion

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
1	1	HE-A 450	245.00 178.00	63720.01 1.14	9470.00 1.25
2	1	HE-A 450	245.00 178.00	63720.01 1.14	9470.00 1.25
3	1	HE-A 400	190.00 159.00	45070.01 1.14	8560.00 1.25
4	1	IPE 550	124.00 134.00	67120.01 1.14	2670.00 1.25
5	1	IPE 550	124.00 134.00	67120.01 1.14	2670.00 1.25
6	1	HE-A 120	6.02 25.30	606.00 1.14	231.00 1.25
7	1	HE-A 240	41.70 76.80	7760.00 1.14	2770.00 1.25

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 1 - HE-A 450							
Sigma gesamt	1	6.000	6	LG12	-12.84	21.82	0.59
Tau gesamt	3	2.000	13	LG23	-1.68	12.60	0.13
Sigma-v	1	6.000	8	LG12	12.84	21.82	0.59
Querschnitt Nr. 2 - HE-A 450							
Sigma gesamt	13	2.000	1	LG40	-17.16	21.82	0.79
Tau gesamt	13	0.000	13	LG23	1.63	12.60	0.13
Sigma-v	13	2.000	3	LG40	17.16	21.82	0.79
Querschnitt Nr. 3 - HE-A 400							
Sigma gesamt	21	7.000	1	LG42	-19.91	21.82	0.91
Tau gesamt	21	0.000	13	LG40	1.85	12.60	0.15
Sigma-v	21	7.000	3	LG42	19.91	21.82	0.91
Querschnitt Nr. 4 - IPE 550							
Sigma gesamt	9	3.180	6	LG40	-19.56	21.82	0.90

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Hallenrahmen	Seite: 30

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Tau gesamt	9	3.180	13	LG41	-2.92	12.60	0.23
Sigma-v	9	3.180	8	LG40	19.59	21.82	0.90
Querschnitt Nr. 5 - IPE 550							
Sigma gesamt	14	0.000	6	LG43	-23.74	21.82	1.09
Tau gesamt	14	0.000	13	LG14	4.10	12.60	0.33
Sigma-v	14	0.000	8	LG43	23.79	21.82	1.09
Querschnitt Nr. 6 - HE-A 120							
Sigma gesamt	23	0.000	6	LG12	-11.88	21.82	0.54
Tau gesamt	23	0.000	13	LG12	8.68	12.60	0.69
Sigma-v	23	0.000	12	LG12	16.17	21.82	0.74
Querschnitt Nr. 7 - HE-A 240							
Sigma gesamt	22	0.000	6	LG22	-6.49	21.82	0.30
Tau gesamt	22	0.000	13	LG22	9.53	12.60	0.76
Sigma-v	22	0.000	13	LG22	16.51	21.82	0.76

BGDK1 - BGDK-NACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe: 4-9,16-21
Zu bemessende Stabzüge: 1-3,6
Zu bemessende LF-Gruppen:
LG1 Eigengewicht+1.5*0.9*(Schnee+Wind 90°)
LG2 Eigengewicht+1.5*(Schnee+0,5*Wind 90°)
LG3 Eigengewicht+1.5*0.9*(Schnee+Wind 0° von links)
LG4 Eigengewicht+1.5*(Schnee+0.5*Wind 0° von links)
LG5 Eigengewicht+1.5*0.9(Schnee+Wind 0° von rechts)
LG6 Eigengewicht+1.5*(Schnee+0.5*Wind 0° von rechts)
LG10 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. l.
LG11 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Massekr. r.
LG12 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG13 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG14 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. l.
LG15 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Massekr. r.
LG16 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG17 Eigengewicht+Schnee+Wind 90°+Katzst. r.; Schrägl. i.
LG20 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. l.
LG21 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Massekr. r.
LG22 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG23 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG24 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. l.
LG25 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Massekr. r.
LG26 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG27 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° l.+Katzst. r.; Schrägl. i.
LG30 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. l.
LG31 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Massekr. r.
LG32 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. a.
LG33 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. l.; Schrägl. i.
LG34 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. l.
LG35 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Massekr. r.
LG36 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. a.
LG37 Eigengewicht+Schnee+Wind 0° r.+Katzst. r.; Schrägl. i.
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M: 1.10
Ermittlungsart von Zeta für M-Ki: Lösen des Minimums des elastischen Potentials

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	2.100E+05	80999.997	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Anmerkung
1	1	HE-A 450	
2	1	HE-A 450	
3	1	HE-A 400	
4	1	IPE 550	
5	1	IPE 550	

HE-A 450

HE-A 450

HE-A 400

IPE 550

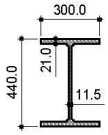
IPE 550

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 31

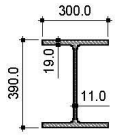
BGDK-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
9	Querschnitt	IPE 550
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
21	Querschnitt	HE-A 400
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
SZ1	Stabzug	Stütze links
	Querschnitt	HE-A 450
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
SZ3	Stabzug	Stütze mitte, unterer Teil
	Querschnitt	HE-A 450
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
SZ6	Stabzug	Riegelteilstück 2.1
	Querschnitt	IPE 550
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger

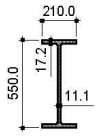
HE-A 450



HE-A 400



IPE 550



NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE

Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 1 - HE-A 450				
1	5250.000	LG12	**0.766**	5) Nachweis nach (27) erbracht

Querschnittsmaße HE-A 450									
bo	300.0	mm		bu	300.000	mm	s	11.500	mm
to	21.0	mm		tu	21.000	mm	h	440.0	mm
Querschnittswerte									
A	178.00	cm^2		I-Om	4146000.0	cm^6	W-z	631.00	cm^3
I-y	63720.000	cm^4		i-z	7.29	cm	W-pl,y	3220.00	cm^3
I-z	9470.00	cm^4		i-p	20.26	cm	W-pl,z	965.53	cm^3
I-T	245.000	cm^4		W-y	2900.00	cm^3	Ksl-z	b	
Schnittgrößen									
N	-341.38	kN		M-y,Anf	0.00	kNm	x-My,min	6.000	m
V-z	-43.46	kN		M-y,End	-253.10	kNm			
M-y	-285.19	kNm		M-y,min	-316.53	kNm			
Plastische Schnittgrößen									
N-pl,k	4272.00	kN		V-pl,z,k	667.67	kN	M-pl,y,k	772.80	kNm
N-pl,d	3883.64	kN		V-pl,z,d	606.97	kN	M-pl,y,d	702.55	kNm
Biegedrillknicklast N-Ki									
Beta-z	1.000			l-0	10.000	m	s-K	10.000	m
Beta-0	1.000			c	38.06	cm	N-Ki	1962.770	kN
l	10.000	m		Lambda-V	137.17				
Abminderungsfaktor Kappa-z									
Ksl-z	b			Lambda-K,z	1.475				
Alpha	0.340			Kappa-z	0.3515				
Biegedrillknickmoment M-Ki									
z-p	-220.000	mm		c	38.06	cm			
Zeta	1.339			M-Ki	752.445	kNm			
Abminderungsfaktor Kappa-M									
n	2.500			Lambda-M	1.013	> 0.4			
Q-Last z	Ja			Kappa-M	0.748				
Beiwert k-y									
Psi-y	0.000			Beta-M,Q,y	1.400		Lambda-K,z	1.475	
Beta-M,Psi,	1.800			M-Q,y	164.67	kNm	a-y	0.2023	
Q-Last z	Ja			Delta-M,y	316.53	kNm	k-y	0.949	
E-Last z	Ja			Beta-M,y	1.592				
Nachweis									
D1	0.250	> 0.1		D2	0.515		D	0.766	< 1.0

Querschnitt 2 - HE-A 450				
11	7000.000	LG37	**0.699**	5) Nachweis nach (27) erbracht

Querschnittsmaße HE-A 450									
bo	300.0	mm		bu	300.000	mm	s	11.500	mm
to	21.0	mm		tu	21.000	mm	h	440.0	mm
Querschnittswerte									
A	178.00	cm^2		I-Om	4146000.0	cm^6	W-z	631.00	cm^3
I-y	63720.000	cm^4		i-z	7.29	cm	W-pl,y	3220.00	cm^3
I-z	9470.00	cm^4		i-p	20.26	cm	W-pl,z	965.53	cm^3
I-T	245.000	cm^4		W-y	2900.00	cm^3	Ksl-z	b	
Schnittgrößen									
N	-343.91	kN		M-y	-373.27	kNm	M-y,End	-373.27	kNm
V-z	-21.06	kN		M-y,Anf	0.00	kNm			
Plastische Schnittgrößen									
N-pl,k	4272.00	kN		V-pl,z,k	667.67	kN	M-pl,y,k	772.80	kNm
N-pl,d	3883.64	kN		V-pl,z,d	606.97	kN	M-pl,y,d	702.55	kNm
Biegedrillknicklast N-Ki									
Beta-z	1.000			l-0	7.000	m	s-K	7.000	m
Beta-0	1.000			c	30.55	cm	N-Ki	4005.650	kN
l	7.000	m		Lambda-V	96.02				
Abminderungsfaktor Kappa-z									

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 32

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE

Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart						
	Ksl-z		b		Lambda-K,z	1.033				
	Alpha		0.340		Kappa-z	0.5764				
	Biegedrillknickmoment M-Ki									
	z-p		-220.000	mm	c	30.55	cm			
	Zeta		2.089		M-Ki	1796.230	kNm			
	Abminderungsfaktor Kappa-M									
	n		2.500		Lambda-M	0.656	> 0.4			
	Q-Last z		Ja		Kappa-M	0.955				
	Beiwert k-y									
	Psi-y		0.000		Beta-M,Q,y	1.400		Lambda-K,z	1.033	
	Beta-M,Psi,		1.800		M-Q,y	43.07	kNm	a-y	0.1217	
	Q-Last z		Ja		Delta-M,y	373.27	kNm	k-y	0.981	
	E-Last z		Ja		Beta-M,y	1.754				
	Nachweis									
	D1		0.154	> 0.1	D2	0.546		D	0.699	< 1.0
Querschnitt 3 - HE-A 400										
21	7000.000	LG21	**0.822**	11) Nachweis nach (16) und (22) erbracht						
	Querschnittsmaße HE-A 400									
	bo		300.0	mm	bu	300.000	mm	s	11.000	mm
	to		19.0	mm	tu	19.000	mm	h	390.0	mm
	Querschnittswerte									
	A		159.00	cm^2	I-Om	2942000.0	cm^6	W-z	571.00	cm^3
	I-y		45070.000	cm^4	i-z	7.34	cm	W-pl,y	2560.00	cm^3
	I-z		8560.00	cm^4	i-p	18.33	cm	W-pl,z	872.86	cm^3
	I-T		190.000	cm^4	W-y	2310.00	cm^3	Ksl-z	b	
	Schnittgrößen									
	N		-148.96	kN	M-y	434.47	kNm	M-y,End	434.47	kNm
	V-z		52.35	kN	M-y,Anf	0.00	kNm			
	Plastische Schnittgrößen									
	N-pl,k		3816.00	kN	V-pl,z,k	565.48	kN	M-pl,y,k	614.40	kNm
	N-pl,d		3469.09	kN	V-pl,z,d	514.07	kN	M-pl,y,d	558.55	kNm
	Biegedrillknicklast N-Ki									
	Beta-z		1.000		l-0	7.000	m	s-K	7.000	m
	Beta-0		1.000		c	27.73	cm	N-Ki	3620.730	kN
	l		7.000	m	Lambda-V	95.37				
	Abminderungsfaktor Kappa-z									
	Ksl-z		b		Lambda-K,z	1.027				
	Alpha		0.340		Kappa-z	0.5802				
	Biegedrillknickmoment M-Ki									
	z-p		-195.000	mm	c	27.73	cm			
	Zeta		1.741		M-Ki	1238.410	kNm			
	Abminderungsfaktor Kappa-M									
	n		2.500		Lambda-M	0.704	> 0.4			
	Q-Last z		Ja		Kappa-M	0.938				
	Beiwert k-y									
	Psi-y		0.000		Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	1.027	
	Beta-M,Psi,		1.800		M-Q,y	16.25	kNm	a-y	0.1243	
	Q-Last z		Ja		Delta-M,y	434.47	kNm	k-y	0.991	
	E-Last z		Nein		Beta-M,y	1.781				
	Nachweis									
	D1		0.074	< 0.1	D2	0.822		D	0.822	< 1.0
Querschnitt 4 - IPE 550										
9	3180.000	LG11	**0.793**	11) Nachweis nach (16) und (22) erbracht						
	Querschnittsmaße IPE 550									
	bo		210.0	mm	bu	210.000	mm	s	11.100	mm
	to		17.2	mm	tu	17.200	mm	h	550.0	mm
	Querschnittswerte									
	A		134.00	cm^2	I-Om	1884000.0	cm^6	W-z	254.00	cm^3
	I-y		67120.000	cm^4	i-z	4.45	cm	W-pl,y	2780.00	cm^3
	I-z		2670.00	cm^4	i-p	22.74	cm	W-pl,z	400.54	cm^3
	I-T		124.000	cm^4	W-y	2440.00	cm^3	Ksl-z	b	
	Schnittgrößen									
	N		-35.49	kN	M-y	-467.86	kNm	M-y,End	-467.86	kNm
	V-z		-155.99	kN	M-y,Anf	-46.07	kNm			
	Plastische Schnittgrößen									
	N-pl,k		3216.00	kN	V-pl,z,k	819.48	kN	M-pl,y,k	667.20	kNm
	N-pl,d		2923.64	kN	V-pl,z,d	744.98	kN	M-pl,y,d	606.55	kNm
	Biegedrillknicklast N-Ki									
	Beta-z		1.000		l-0	3.179	m	s-K	3.179	m
	Beta-0		1.000		c	29.82	cm	N-Ki	5476.750	kN
	l		3.179	m	Lambda-V	71.43				
	Abminderungsfaktor Kappa-z									
	Ksl-z		b		Lambda-K,z	0.766				
	Alpha		0.340		Kappa-z	0.7450				
	Biegedrillknickmoment M-Ki									
	z-p		-275.000	mm	c	29.82	cm			
	Zeta		1.825		M-Ki	1906.980	kNm			
	Abminderungsfaktor Kappa-M									
	n		2.500		Lambda-M	0.592	> 0.4			
	Q-Last z		Ja		Kappa-M	0.972				
	Beiwert k-y									
	Psi-y		0.098		Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	0.766	
	Beta-M,Psi,		1.731		M-Q,y	18.17	kNm	a-y	0.0471	
	Q-Last z		Ja		Delta-M,y	467.86	kNm	k-y	0.999	
	E-Last z		Nein		Beta-M,y	1.714				
	Nachweis									
	D1		0.016	< 0.1	D2	0.793		D	0.793	< 1.0
Querschnitt 5 - IPE 550										
14	0.000	LG34	**0.954**	11) Nachweis nach (16) und (22) erbracht						
	Querschnittsmaße IPE 550									
	bo		210.0	mm	bu	210.000	mm	s	11.100	mm
	to		17.2	mm	tu	17.200	mm	h	550.0	mm
	Querschnittswerte									
	A		134.00	cm^2	I-Om	1884000.0	cm^6	W-z	254.00	cm^3
	I-y		67120.000	cm^4	i-z	4.45	cm	W-pl,y	2780.00	cm^3

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Hallenrahmen	Seite: 33

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE

Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart						
	I-z	2670.00	cm^4	i-p	22.74	cm	W-pl,z	400.54	cm^3	
	I-T	124.000	cm^4	W-y	2440.00	cm^3	Ksl-z	b		
	Schnittgrößen									
	N	-58.88	kN	M-y	-564.66	kNm	M-y,End	-60.53	kNm	
	V-z	213.00	kN	M-y,Anf	-564.66	kNm				
	Plastische Schnittgrößen									
	N-pl,k	3216.00	kN	V-pl,z,k	819.48	kN	M-pl,y,k	667.20	kNm	
	N-pl,d	2923.64	kN	V-pl,z,d	744.98	kN	M-pl,y,d	606.55	kNm	
	Biegedrillknicklast N-Ki									
	Beta-z	1.000		l-0	3.179	m	s-K	3.179	m	
	Beta-0	1.000		c	29.82	cm	N-Ki	5476.750	kN	
	l	3.179	m	Lambda-V	71.43					
	Abminderungsfaktor Kappa-z									
	Ksl-z	b		Lambda-K,z	0.766					
	Alpha	0.340		Kappa-z	0.7450					
	Biegedrillknickmoment M-Ki									
	z-p	-275.000	mm	c	29.82	cm				
	Zeta	1.904		M-Ki	1989.880	kNm				
	Abminderungsfaktor Kappa-M									
	n	2.500		Lambda-M	0.579	> 0.4				
	Q-Last z	Ja		Kappa-M	0.975					
	Beiwert k-y									
	Psi-y	0.107		Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	0.766		
	Beta-M,Psi,	1.725		M-Q,y	40.69	kNm	a-y	0.0448		
	Q-Last z	Ja		Delta-M,y	564.66	kNm	k-y	0.999		
	E-Last z	Nein		Beta-M,y	1.694					
	Nachweis									
	D1	0.027	< 0.1	D2	0.954		D	0.954	< 1.0	

3.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

3.4.1 Verformungsbeschränkung für Rahmenriegel

Die Grenzwerte der Durchbiegung des Rahmenriegels werden nach DIN 18807-3 Kap. 3.3.4.2 festgelegt.

Grenzwert:

zul u_z = l/300 = 19000/300 = 63,3 mm (Dächer mit oberseitiger Abdichtung)

vorhandene Durchbiegung:

vorh $u_{z,max}$ = 58,45 mm (Globale Stabverschiebung; Stab-Nr. 6; LG 72)

Nachweis:

vorh $u_{z,max}$ / zul u_z = 58,45 / 63,3 = 0,92 < 1

3.4.2 Verformungsbeschränkung für Kranbetrieb

Die Grenzwerte der horizontalen Verschiebung der Stützen wird nach DIN EN 1993-6/NA festgelegt.

Grenzwerte für Hubklasse H2:

1. Kranbahnkonsole

   zul u_x = hc / 300 = 6000 / 300 = 20,0 mm

2. Kranbahnkonsole

   zul u_x = hc / 300 = 8000 / 300 = 26,7 mm

vorhandene horizontale Verschiebung:

1. Kranbahnkonsole

   vorh $u_{x,max}$ = 13,2 mm (Globale Knotenverformungen; Knoten-Nr. 23; LG84)

2. Kranbahnkonsole

   vorh $u_{x,max}$ = 13,8 mm (Globale Knotenverformungen; Knoten-Nr. 24; LG84)

Nachweise

1. Kranbahnkonsole

   vorh $u_{x,max}$ / zul u_x = 13,2 / 20,0 = 0,66 < 1
2. Kranbahnkonsole

   vorh $u_{x,max}$ / zul u_x = 13,8 / 26,7 = 0,52 < 1

4 Dachverbände

Die Dachverbände der beiden Hallenschiffe werden als K-Verband ausgeführt, wobei die Pfetten als Druckpfosten fungieren.

4.1 1. Hallenschiff

4.1.1 Lastfälle

Stabilisierungslast

aus Rahmenriegel IPE 550 (h = 550 mm; t = 11,1 mm)

max M = 358,42 kNm min N = -4,93 kN (Zweischiffige Halle; Stab 6; LG 41)

Normalkraft im Obergurt des Rahmenriegels:

$$N_{OG} = \frac{\max M}{h-t} - \frac{N}{2} = \frac{358{,}41 * 1000}{550 - 11{,}1} + \frac{4{,}93}{2} = 667{,}54\,\text{kN}$$

Ersatzbelastung für Vorkrümmung des Rahmenriegels nach DIN 18800-2 EL. 204:

Knickspannungslinie: IPE 550 ausweichen rechtwinklig zur z-Achse → KSL b

Stich der Vorkrümmung: w_0 = l/250

Ersatzbelastung:

$$q_1 = n * \frac{N_{OG} * 8 * w_0}{l^2} = 5{,}5 * \frac{667{,}54 * 8}{19 * 250} = 6{,}18 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

mit n = Anzahl der zu stabilisierenden Rahmenriegel je Dachverband

Windlasten

Die auf die Giebelwand wirkenden Windkräfte müssen zur Hälfte vom Dachverband weitergeleitet werden, da die Windgiebelstützen als Einfeldträger angenommen werden. Nachfolgend wird die Lasteinzugsbreite des Rahmenriegels bestimmt:

$$\text{Giebelwandfläche} \quad A = b * h_{Traufe} + \left(\frac{b}{2}\right)^2 * \tan\alpha = 19 * 10 + \left(\frac{19}{2}\right)^2 * \tan 5° = 197{,}9\,\text{m}^2$$

$$\text{Lasteinzugsbreite} \quad b = \frac{1}{2} * \frac{A}{b} = \frac{1}{2} * \frac{197{,}9}{19} = 5{,}21\,\text{m}$$

Die Lastfälle infolge Windbeanspruchung werden in Ansatz gebracht, indem die ermittelten Flächenlasten für Winddruck auf die Wände und die zugehörigen Innendrücke mit der Lasteinzugsbreite multipliziert werden.

4.1.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Dachverband 1. Hallenschiff

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

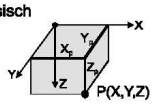
☐ 1D-Durchlaufträger
☒ 2D-Stabwerk
☐ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

21 Knoten
1 Materialien
4 Querschnitte
0 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

40 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
2 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



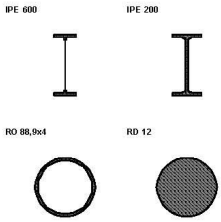
KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0.000		0.000
2	Kartesisch	-	0.000		6.000
	Gelagert				
3	Kartesisch	-	3.167		0.000
4	Kartesisch	-	3.167		6.000
5	Kartesisch	-	6.333		0.000
6	Kartesisch	-	6.333		6.000
7	Kartesisch	-	9.500		0.000
8	Kartesisch	-	9.500		6.000
9	Kartesisch	-	12.667		0.000
10	Kartesisch	-	12.667		6.000
11	Kartesisch	-	15.833		0.000
12	Kartesisch	-	15.833		6.000
13	Kartesisch	-	19.000		0.000
14	Kartesisch	-	19.000		6.000
	Gelagert				
15	Kartesisch	-	0.000		3.000
16	Kartesisch	-	3.167		3.000
17	Kartesisch	-	6.333		3.000
18	Kartesisch	-	9.500		3.000
19	Kartesisch	-	12.667		3.000
20	Kartesisch	-	15.833		3.000
21	Kartesisch	-	19.000		3.000

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 2

MATERIALIEN

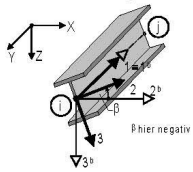
Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_2 [cm⁴]	A [cm²]	A_3 [cm²]
1	1	IPE 600	92080.00	156.000	
2	1	IPE 200	1940.00	28.500	
3	1	RO 88,9x4	96.34	10.669	
4	1	RD 12	0.10	1.130	

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Fachwerkstab	1	3	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
2	Fachwerkstab	2	4	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
3	Fachwerkstab	3	5	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
4	Fachwerkstab	4	6	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
5	Fachwerkstab	5	7	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
6	Fachwerkstab	6	8	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
7	Fachwerkstab	7	9	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
8	Fachwerkstab	8	10	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
9	Fachwerkstab	9	11	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
10	Fachwerkstab	10	12	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
11	Fachwerkstab	11	13	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
12	Fachwerkstab	12	14	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
13	Fachwerkstab	1	15	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
14	Fachwerkstab	3	16	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
15	Fachwerkstab	5	17	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
16	Fachwerkstab	7	18	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
17	Fachwerkstab	9	19	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
18	Fachwerkstab	11	20	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
19	Fachwerkstab	13	21	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
20	Fachwerkstab	15	2	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
21	Fachwerkstab	16	4	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
22	Fachwerkstab	17	6	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
23	Fachwerkstab	18	8	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
24	Fachwerkstab	19	10	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
25	Fachwerkstab	20	12	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
26	Fachwerkstab	21	14	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
27	Fachwerkstab	1	16	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
28	Fachwerkstab	16	2	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
29	Fachwerkstab	3	17	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
30	Fachwerkstab	17	4	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
31	Fachwerkstab	5	18	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
32	Fachwerkstab	18	6	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
33	Fachwerkstab	9	18	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
34	Fachwerkstab	18	10	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
35	Fachwerkstab	11	19	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
36	Fachwerkstab	19	12	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
37	Fachwerkstab	13	20	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
38	Fachwerkstab	20	14	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
39	Fachwerkstab	15	16	0.00	4	4	-	-	-	3.167	HORI
40	Fachwerkstab	20	21	0.00	4	4	-	-	-	3.167	HORI

AUFLAGER

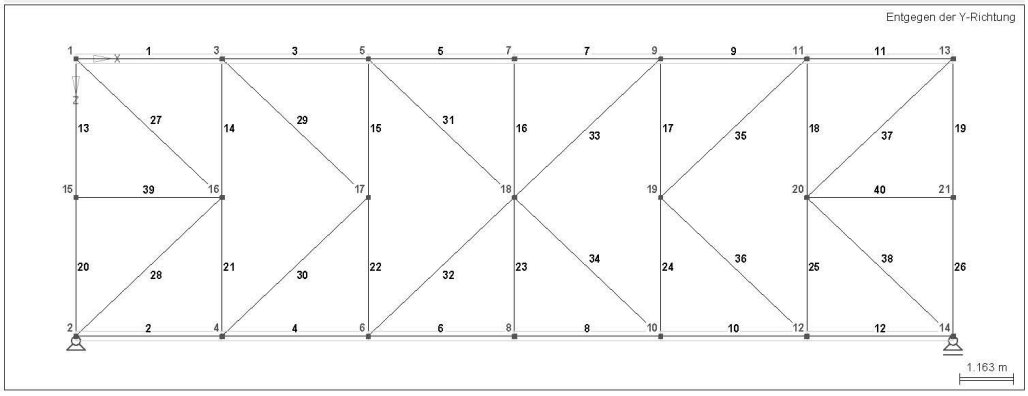
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	2	0.0	0.0	Ja		Ja		Nein	
2	14	0.0	0.0	Nein		Ja		Nein	

STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1		1,3,5,7,9,11
2		2,4,6,8,10,12

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 3

STRUKTUR

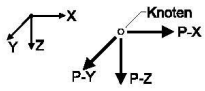


BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Stabilisierungslast für Sog auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
2	Stabilisierungslast für Druck auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
3	Wind 0° von links (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 0° von rechts (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
5	Wind 90° (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
6	Wind 90° (Druck auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-

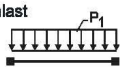
Globale Knotenkraft



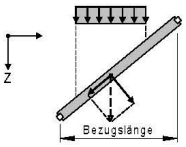
KNOTENKRÄFTE LF 1

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	2,14	0.000	0.000	-58.710

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1	1	Z	6.180			
2	3	1	Z	6.180			
3	5	1	Z	6.180			
4	7	1	Z	6.180			
5	9	1	Z	6.180			
6	11	1	Z	6.180			

KNOTENKRÄFTE LF 2

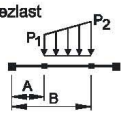
Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	2,14	0.000	0.000	-58.710

STABLASTEN LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	2	1	Z	6.180			
2	4	1	Z	6.180			
3	6	1	Z	6.180			
4	8	1	Z	6.180			
5	10	1	Z	6.180			
6	12	1	Z	6.180			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 4

4 - Trapezlast



STABLASTEN LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	2	4	Z	5.000	5.000	0.000	3.16667
2	4	4	Z	5.000	5.000	0.000	1.16333
3	4	4	Z	3.330	3.330	1.16333	3.16667
4	6	4	Z	3.330	3.330	0.000	3.16667
5	8	4	Z	3.330	3.330	0.000	3.16667
6	10	4	Z	3.330	3.330	0.000	3.16667
7	12	4	Z	3.330	3.330	0.000	3.16667
8	2	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
9	4	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
10	6	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
11	8	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
12	10	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
13	12	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667

STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	2	4	Z	2.080	2.080	0.000	3.16667
2	4	4	Z	2.080	2.080	0.000	3.16667
3	6	4	Z	2.080	2.080	0.000	3.16667
4	8	4	Z	2.080	2.080	0.000	3.16667
5	10	4	Z	2.080	2.080	0.000	3.16667
6	12	4	Z	2.080	2.080	0.000	0.50667
7	12	4	Z	3.330	3.330	0.50667	3.16667
8	2	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
9	4	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
10	6	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
11	8	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
12	10	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
13	12	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667

STABLASTEN LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	2	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
2	4	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
3	6	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
4	8	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
5	10	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
6	12	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
7	2	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
8	4	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
9	6	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
10	8	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
11	10	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667
12	12	4	Z	0.830	0.830	0.000	3.16667

STABLASTEN LF 6

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
2	3	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
3	5	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
4	7	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
5	9	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
6	11	4	Z	2.920	2.920	0.000	3.16667
7	1	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
8	3	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
9	5	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
10	7	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
11	9	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667
12	11	4	Z	1.250	1.250	0.000	3.16667

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF3
2	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF4
3	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF5
4	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck	1.00	1.10	LF2 + 1.50*LF6

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 5

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	Eps-Konvergenz gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG1	1.000	2	.43E-03	0.01	Ja	Nein
LG2	1.000	2	.32E-03	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	2	.25E-03	0.01	Ja	Nein
LG4	1.000	2	.40E-03	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
Querschnitt-Nr. 2: IPE 200									
21	LG1	MAX N	.00	55.27	.00	.00			
13	LG1	MIN N	.00	-61.79	.00	.00			
13	LG1	MAX Q-3	.00	-61.79	.00	.00			
13	LG1	MIN Q-3	.00	-61.79	.00	.00			
Querschnitt-Nr. 3: RO 88,9x4									
27	LG1	MAX N	.00	75.67	.00	.00			
28	LG1	MIN N	.00	-75.61	.00	.00			
27	LG1	MAX Q-3	.00	75.67	.00	.00			
27	LG1	MIN Q-3	.00	75.67	.00	.00			

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
2	LF3	.000	.000	45.927	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	27.878	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	19.760	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	39.615	.000	.000	.000
14	LF3	.000	.000	40.344	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	30.737	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	19.760	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	39.615	.000	.000	.000
ΣKräfte	LF3	.000	.000	86.271			
ΣLasten		.000	.000	86.271			
ΣKräfte	LF4	.000	.000	58.615			
ΣLasten		.000	.000	58.615			
ΣKräfte	LF5	.000	.000	39.520			
ΣLasten		.000	.000	39.520			
ΣKräfte	LF6	.000	.000	79.230			
ΣLasten		.000	.000	79.230			

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
27-38

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links
LG2 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts
LG3 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog
LG4 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82

RO 88,9x4

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
3	1	RO 88,9x4	0.00 10.67	96.34 1.00	0.00 1.00

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 3 - RO 88,9x4							
Sigma gesamt	27	0.000	1	LG1	7.09	21.82	0.33
Tau gesamt	27	0.000	1	LG1	0.00	12.60	0.00
Sigma-v	27	0.000	1	LG1	7.09	21.82	0.33

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 1. Hallenschiff	Seite: 6

KAPPA1 - BIEGEKNICKNACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	27-38
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG1 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links
	LG2 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts
	LG3 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog
	LG4 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Bemessungsmethode nach DIN 18800:	Nachweismethode 1 nach El. (321)
Nachweisverfahren:	Elastisch-Plastisch nach DIN 18800
Überprüfung von grenz (b/t)	☒

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	210000.000	81000.000	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

RO 88,9x4

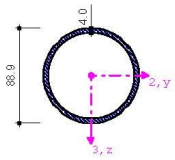
QUERSCHNITTE

Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung
3	1	RO 88,9x4

KAPPA-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
28	Querschnitt	RO 88,9x4
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	4.362 m
	Knicklast N-Ki,2	104.94 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	1.562
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.347
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☐

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE



Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 3 - RO 88,9x4				
28	0.000	LG1	**0.935**	4) Nachweis nach (3) erbracht (Planmäßig mittiger Druck)

Querschnittsmaße RO 88,9x4							
D	88.9	mm	t	4.0	mm		
Querschnittswerte RO 88,9x4							
A	10.67	cm^2	I-2	96.34	cm^4	Ksl-2	a
Schnittgrößen							
N	-75.61	kN	M-2	0.00	kNm	M-2,End	0.00 kNm
V-3	0.00	kN	M-2,Anf	0.00	kNm		
Plastische Grenzschnittgrößen							
N-pl,k	256.05	kN	N-pl,d	232.77	kN		
Abminderungsfaktor Kappa							
s-K,2	4.362	m	Lambda-K,2	1.562		Alpha-2	0.21
N-Ki,2	104.94	kN	Ksl-2	a		Kappa-2	0.347
Nachweis							
D-N	0.935	< 1.0					
Überprüfung von grenz (b/t) - massgebend Feld Nr. 1							
Typ	Rohr		t	4.0	mm	vorh (d/t)	21.225 < 70.000
d	84.9	mm	grenz (d/t)	70.000			

4.2 2. Hallenschiff

4.2.1 Lastfälle

Stabilisierungslasten

aus Rahmenriegel IPE 550 (h = 550 mm; t = 11,1 mm)

max M = 314,07 kNm min N = -46,77 kN (Zweischiffige Halle; Stab 17 LG 13)

Normalkraft im Obergurt des Rahmenriegels:

$$N_{OG} = \frac{\max M}{h-t} - \frac{N}{2} = \frac{314{,}07 * 1000}{550 - 11{,}1} + \frac{46{,}77}{2} = 606{,}18\,\text{kN}$$

Ersatzbelastung für Vorkrümmung des Rahmenriegels nach DIN 18800-2 EL. 204:

Knickspannungslinie: IPE 550 ausweichen rechtwinklig zur z-Achse → KSL b

Stich der Vorkrümmung: w_0 = l/250

Ersatzbelastung:

$$q_2 = n * \frac{N_{OG} * 8 * w_0}{l^2} = 5{,}5 * \frac{606{,}18 * 8}{19 * 250} = 5{,}62\,\frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

mit n = Anzahl der zu stabilisierenden Rahmenriegel je Dachverband

Windlasten

Die auf die Giebelwand wirkenden Windkräfte müssen zur Hälfte vom Dachverband weitergeleitet werden, da die Windgiebelstützen als Einfeldträger angenommen werden. Nachfolgend wird die Lasteinzugsbreite des Rahmenriegels bestimmt:

$$\text{Giebelwandfläche} \quad A = b * h_{\text{Traufe}} + \left(\frac{b}{2}\right)^2 * \tan\alpha = 19 * 7 + \left(\frac{19}{2}\right)^2 * \tan 5° = 140{,}9\,\text{m}^2$$

$$\text{Lasteinzugsbreite} \quad b = \frac{1}{2} * \frac{A}{b} = \frac{1}{2} * \frac{140{,}9}{19} = 3{,}71\,\text{m}$$

Die Lastfälle infolge Windbeanspruchung werden in Ansatz gebracht, indem die ermittelten Flächenlasten für Winddruck auf die Wände und die zugehörigen Innendrücke mit der Lasteinzugsbreite multipliziert werden.

4.2.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Dachverband 2. Hallenschiff

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

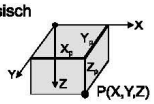
☐ 1D-Durchlaufträger
☒ 2D-Stabwerk
☐ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

21 Knoten
1 Materialien
4 Querschnitte
0 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

40 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
2 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



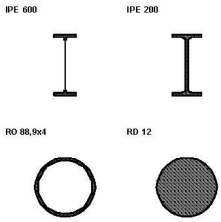
KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0.000		0.000
2	Kartesisch	-	0.000		6.000
	Gelagert				
3	Kartesisch	-	3.167		0.000
4	Kartesisch	-	3.167		6.000
5	Kartesisch	-	6.333		0.000
6	Kartesisch	-	6.333		6.000
7	Kartesisch	-	9.500		0.000
8	Kartesisch	-	9.500		6.000
9	Kartesisch	-	12.667		0.000
10	Kartesisch	-	12.667		6.000
11	Kartesisch	-	15.833		0.000
12	Kartesisch	-	15.833		6.000
13	Kartesisch	-	19.000		0.000
14	Kartesisch	-	19.000		6.000
	Gelagert				
15	Kartesisch	-	0.000		3.000
16	Kartesisch	-	3.167		3.000
17	Kartesisch	-	6.333		3.000
18	Kartesisch	-	9.500		3.000
19	Kartesisch	-	12.667		3.000
20	Kartesisch	-	15.833		3.000
21	Kartesisch	-	19.000		3.000

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 2

MATERIALIEN

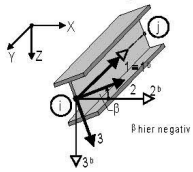
Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_2 [cm⁴]	A [cm²]	A_3 [cm²]
1	1	IPE 600	92080.00	156.000	
2	1	IPE 200	1940.00	28.500	
3	1	RO 88,9x4	96.34	10.669	
4	1	RD 12	0.10	1.130	

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Fachwerkstab	1	3	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
2	Fachwerkstab	2	4	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
3	Fachwerkstab	3	5	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
4	Fachwerkstab	4	6	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
5	Fachwerkstab	5	7	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
6	Fachwerkstab	6	8	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
7	Fachwerkstab	7	9	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
8	Fachwerkstab	8	10	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
9	Fachwerkstab	9	11	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
10	Fachwerkstab	10	12	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
11	Fachwerkstab	11	13	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
12	Fachwerkstab	12	14	0.00	1	1	-	-	-	3.167	HORI
13	Fachwerkstab	1	15	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
14	Fachwerkstab	3	16	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
15	Fachwerkstab	5	17	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
16	Fachwerkstab	7	18	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
17	Fachwerkstab	9	19	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
18	Fachwerkstab	11	20	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
19	Fachwerkstab	13	21	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
20	Fachwerkstab	15	2	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
21	Fachwerkstab	16	4	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
22	Fachwerkstab	17	6	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
23	Fachwerkstab	18	8	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
24	Fachwerkstab	19	10	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
25	Fachwerkstab	20	12	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
26	Fachwerkstab	21	14	0.00	2	2	-	-	-	3.000	VERT
27	Fachwerkstab	1	16	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
28	Fachwerkstab	16	2	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
29	Fachwerkstab	3	17	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
30	Fachwerkstab	17	4	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
31	Fachwerkstab	5	18	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
32	Fachwerkstab	18	6	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
33	Fachwerkstab	9	18	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
34	Fachwerkstab	18	10	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
35	Fachwerkstab	11	19	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
36	Fachwerkstab	19	12	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
37	Fachwerkstab	13	20	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
38	Fachwerkstab	20	14	0.00	3	3	-	-	-	4.362	ALLG
39	Fachwerkstab	15	16	0.00	4	4	-	-	-	3.167	HORI
40	Fachwerkstab	20	21	0.00	4	4	-	-	-	3.167	HORI

AUFLAGER

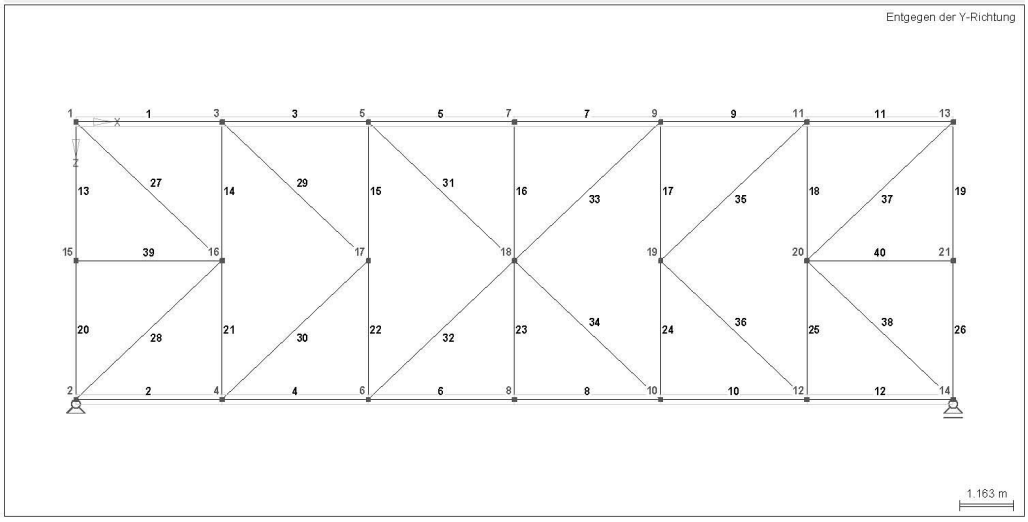
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	2	0.0	0.0	Ja		Ja		Nein	
2	14	0.0	0.0	Nein		Ja		Nein	

STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1		1,3,5,7,9,11
2		2,4,6,8,10,12

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 3

STRUKTUR

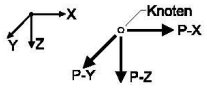


BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Stabilisierungslast für Sog auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
2	Stabilisierungslast für Druck auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
3	Wind 0° von links (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 0° von rechts (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
5	Wind 90° (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
6	Wind 90° (Druck auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-

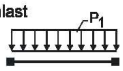
Globale Knotenkraft



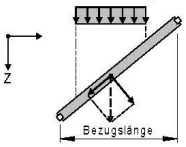
KNOTENKRÄFTE LF 1

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	2,14	0.000	0.000	-53.390

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1	1	Z	5.620			
2	3	1	Z	5.620			
3	5	1	Z	5.620			
4	7	1	Z	5.620			
5	9	1	Z	5.620			
6	11	1	Z	5.620			

KNOTENKRÄFTE LF 2

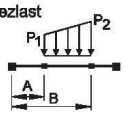
Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	2,14	0.000	0.000	-53.390

STABLASTEN LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	2	1	Z	5.620			
2	4	1	Z	5.620			
3	6	1	Z	5.620			
4	8	1	Z	5.620			
5	10	1	Z	5.620			
6	12	1	Z	5.620			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 4

4 - Trapezlast



STABLASTEN LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	2	4	Z	2.370	2.370	0.000	2.660
2	2	4	Z	1.480	1.480	2.660	3.16667
3	4	4	Z	1.480	1.480	0.000	3.16667
4	6	4	Z	1.480	1.480	0.000	3.16667
5	8	4	Z	1.480	1.480	0.000	3.16667
6	10	4	Z	1.480	1.480	0.000	3.16667
7	12	4	Z	1.480	1.480	0.000	3.16667
8	2	1	Z	0.590			
9	4	1	Z	0.590			
10	6	1	Z	0.590			
11	8	1	Z	0.590			
12	10	1	Z	0.590			
13	12	1	Z	0.590			

STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	2	4	Z	2.370	2.370	0.000	3.16667
2	4	4	Z	2.370	2.370	0.000	3.16667
3	6	4	Z	2.370	2.370	0.000	3.16667
4	8	4	Z	2.370	2.370	0.000	3.16667
5	10	4	Z	2.370	2.370	0.000	2.00333
6	10	4	Z	3.560	3.560	2.00333	3.16667
7	12	4	Z	3.560	3.560	0.000	3.16667
8	2	1	Z	0.590			
9	4	1	Z	0.590			
10	6	1	Z	0.590			
11	8	1	Z	0.590			
12	10	1	Z	0.590			
13	12	1	Z	0.590			

STABLASTEN LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	2	1	Z	0.590			
2	4	1	Z	0.590			
3	6	1	Z	0.590			
4	8	1	Z	0.590			
5	10	1	Z	0.590			
6	12	1	Z	0.590			
7	2	1	Z	0.890			
8	4	1	Z	0.890			
9	6	1	Z	0.890			
10	8	1	Z	0.890			
11	10	1	Z	0.890			
12	12	1	Z	0.890			

STABLASTEN LF 6

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1	1	Z	2.080			
2	3	1	Z	2.080			
3	5	1	Z	2.080			
4	7	1	Z	2.080			
5	9	1	Z	2.080			
6	11	1	Z	2.080			
7	1	1	Z	0.890			
8	3	1	Z	0.890			
9	5	1	Z	0.890			
10	7	1	Z	0.890			
11	9	1	Z	0.890			
12	11	1	Z	0.890			

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF3
2	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF4
3	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck	1.00	1.10	LF1 + 1.50*LF5
4	Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog	1.00	1.10	LF2 + 1.50*LF6

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 5

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	Eps-Konvergenz gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG1	1.000	2	.23E-03	0.01	Ja	Nein
LG2	1.000	2	.31E-03	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	2	.19E-03	0.01	Ja	Nein
LG4	1.000	2	.30E-03	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
Querschnitt-Nr. 2: IPE 200									
25	LG2	MAX N	.00	42.23	.00	.00			
19	LG2	MIN N	.00	-50.74	.00	.00			
13	LG1	MAX Q-3	.00	-44.06	.00	.00			
13	LG1	MIN Q-3	.00	-44.06	.00	.00			
Querschnitt-Nr. 3: RO 88,9x4									
37	LG2	MAX N	4.36	60.88	.00	.00			
38	LG2	MIN N	.00	-60.84	.00	.00			
27	LG1	MAX Q-3	.00	51.16	.00	.00			
27	LG1	MIN Q-3	.00	51.16	.00	.00			

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
2	LF3	.000	.000	21.867	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	28.707	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	14.060	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	28.215	.000	.000	.000
14	LF3	.000	.000	19.831	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	32.686	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	14.060	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	28.215	.000	.000	.000
ΣKräfte	LF3	.000	.000	41.697			
ΣLasten		.000	.000	41.697			
ΣKräfte	LF4	.000	.000	61.393			
ΣLasten		.000	.000	61.393			
ΣKräfte	LF5	.000	.000	28.120			
ΣLasten		.000	.000	28.120			
ΣKräfte	LF6	.000	.000	56.430			
ΣLasten		.000	.000	56.430			

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
27-38

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links
LG2 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts
LG3 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck
LG4 - Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82

RO 88,9x4

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
3	1	RO 88,9x4	0.00 10.67	96.34 1.00	0.00 1.00

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 3 - RO 88,9x4							
Sigma gesamt	37	0.000	1	LG2	5.71	21.82	0.26
Tau gesamt	27	0.000	1	LG1	0.00	12.60	0.00
Sigma-v	37	0.000	1	LG2	5.71	21.82	0.26

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Dachverband 2. Hallenschiff	Seite: 6

KAPPA1 - BIEGEKNICKNACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	27-38
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG1 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von links
	LG2 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 0° von rechts
	LG3 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Druck
	LG4 Stabilisierungslast + 1.5*Wind 90° Sog
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Bemessungsmethode nach DIN 18800:	Nachweismethode 1 nach El. (321)
Nachweisverfahren:	Elastisch-Plastisch nach DIN 18800
Überprüfung von grenz (b/t)	☒

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	210000.000	81000.000	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

RO 88,9x4

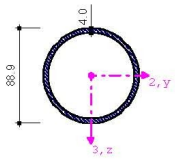
QUERSCHNITTE

Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung
3	1	RO 88,9x4

KAPPA-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
38	Querschnitt	RO 88,9x4
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	4.362 m
	Knicklast N-Ki,2	104.94 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	1.562
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.347
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☐

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE



Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 3 - RO 88,9x4				
38	0.000	LG2	**0.752**	4) Nachweis nach (3) erbracht (Planmäßig mittiger Druck)

Querschnittsmaße RO 88,9x4

D	88.9	mm	t	4.0	mm		

Querschnittswerte RO 88,9x4

A	10.67	cm^2	I-2	96.34	cm^4	Ksl-2	a

Schnittgrößen

N	-60.84	kN	M-2	0.00	kNm	M-2,End	0.00 kNm
V-3	0.00	kN	M-2,Anf	0.00	kNm		

Plastische Grenzschnittgrößen

N-pl,k	256.05	kN	N-pl,d	232.77	kN		

Abminderungsfaktor Kappa

s-K,2	4.362	m	Lambda-K,2	1.562		Alpha-2	0.21
N-Ki,2	104.94	kN	Ksl-2	a		Kappa-2	0.347

Nachweis

D-N	0.752	< 1.0					

Überprüfung von grenz (b/t) - massgebend Feld Nr. 1

Typ	Rohr		t	4.0	mm	vorh (d/t)	21.225 < 70.000
d	84.9	mm	grenz (d/t)	70.000			

5 Wandverbände

5.1 Wandverband linke Achse

5.1.1 Lastfälle

Stabilisierungslast

infolge Stützenschiefstellung nach DIN 18800-2 El. 205 Ansatz von Vorverdrehungen

Normalkräfte in den linken Stützen:

N_1 = 352,769 kN (zweischiffige Halle; Auflagerkraft P_z Knoten 1; LG10)

N_2 = 176,726 kN (zweischiffige Halle; Auflagerkraft P_z Knoten 1; LG1)

Anmerkung: Mit N_1 wird die maximale Last infolge Kranbetrieb berücksichtigt.

$$\text{Vorverdrehung für einteilige Stäbe} \quad \varphi_0 = \frac{1}{200} * r_1 * r_2 = \frac{1}{200} * \sqrt{\frac{5}{10}} * \frac{1}{2} * \left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right) = 0,00252$$

$$\text{mit} \quad r_1 = \sqrt{\frac{5}{1}} = \sqrt{\frac{5}{10}} \quad \text{und} \quad r_2 = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}}\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right)$$

$$n = \text{Anzahl der zu stabilisierenden Stützen}$$

Ersatzbelastung

$$F = (N_1 + (n-1) * N_2) * \varphi_0 = (353,606 + (5,5-1) * 176,964) * 0,00252 = 2,90\,\text{kN}$$

Windlasten

Wind 0° von links

F_k = -45,927 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 3)

Wind 0° von rechts

F_k = -27,878 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 4)

Wind 90° (Sog auf Giebelwand)

F_k = -19,76 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 5)

Wind 90° (Druck auf Giebelwand)

F_k = +39,615 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 6)

Pufferkräfte

infolge Kranbetrieb

2 t-Kran P = 15,5 kN (gemäß Kran-Datenblatt der Anlage 1)

10 t-Kran P = 24,2 kN (gemäß Kran-Datenblatt der Anlage 1)

5.1.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Wandverband linke Achse

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband linke Achse	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

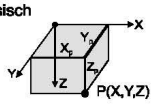
☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

☐ 1D-Durchlaufträger	10 Knoten	19 Stäbe
☐ 2D-Stabwerk	1 Materialien	0 Seilstäbe
☒ 3D-Stabwerk	6 Querschnitte	0 Voutenstäbe
☐ Trägerrost	2 Stabendgelenke	0 El. gebet. Stäbe
	0 Stabteilungen	0 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



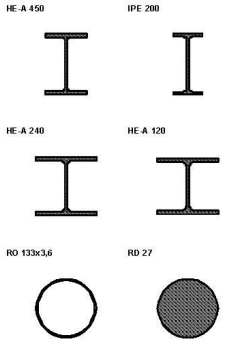
KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	6.000	0.000	0.000
3	Kartesisch	-	0.000	0.000	-6.000
4	Kartesisch	-	6.000	0.000	-6.000
5	Kartesisch	-	0.000	0.000	-8.000
6	Kartesisch	-	6.000	0.000	-8.000
7	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	-10.000
8	Kartesisch Gelagert	-	6.000	0.000	-10.000
9	Kartesisch	3	0.000	0.500	0.000
10	Kartesisch	5	0.000	0.500	0.000

MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

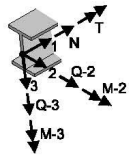
Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband linke Achse	Seite: 2



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I_T A	I_2 A_2	I_3 [cm^4] A_3 [cm^2]
1	1	HE-A 450 α = 90.00°	245.00 178.000	63720.00	9470.00
2	1	IPE 200	7.02 28.500	1940.00	142.00
3	1	HE-A 240	41.70 76.800	7760.00	2770.00
4	1	HE-A 120	6.02 25.300	606.00	231.00
5	1	RO 133x3,6	612.63 14.635	306.55	306.55
6	1	RD 27	5.22 5.730	2.61	2.61

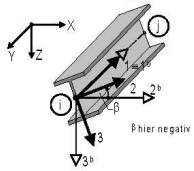
Lokale Gelenkdefinition



STABENDGELENKE

Gelenk-Nr.	Bezugs-Achse	N/Q-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			T/M-Gelenk bzw. Feder [kNm/rad]		
		1-Normal	2-Schub	3-Schub	1-Torsion	2-Biegung	3-Biegung
1	Lokal	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
2	Lokal	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	3	0.00	1	1	-	-	-	6.000	VERT
2	Balken	3	5	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
3	Balken	5	7	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
4	Balken	2	4	0.00	1	1	-	-	-	6.000	VERT
5	Balken	4	6	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
6	Balken	6	8	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
7	Balken	7	8	0.00	2	2	2	2	-	6.000	HORI
8	Balken	3	9	0.00	3	3	1	-	-	0.500	HORI
9	Balken	5	10	0.00	4	4	1	-	-	0.500	HORI
10	Balken	3	4	0.00	5	5	2	2	-	6.000	HORI
11	Balken	5	6	0.00	5	5	2	2	-	6.000	HORI
12	Zugstab	1	4	0.00	6	6	-	-	-	8.485	ALLG
13	Zugstab	2	3	0.00	6	6	-	-	-	8.485	ALLG
14	Zugstab	3	6	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG
15	Zugstab	4	5	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG
16	Zugstab	5	8	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG
17	Zugstab	6	7	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG
18	Fachwerkstab	4	9	0.00	6	6	-	-	-	6.021	HORI
19	Fachwerkstab	6	10	0.00	6	6	-	-	-	6.021	HORI

AUFLAGER

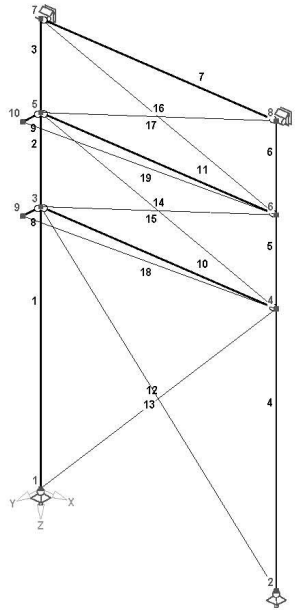
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1,2	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
2	7,8	0.0	0.0	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband linke Achse	Seite: 3

STRUKTUR

Knotennummerierung
Stabnummerierung

Isometrie



BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Wind 0° von links (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
3	Wind 0° von rechts (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 90° (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
5	Wind 90° (Druck auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
6	Stabilisierungslast für Sog auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
7	Stabilisierungslast für Druck auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
8	Pufferkraft 2t-Kran	1.00	Außergewöhnlich	-
9	Pufferkraft 10t-Kran	1.00	Außergewöhnlich	-

KNOTENKRÄFTE LF 2

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	7	-45.927	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 3

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	7	-27.878	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 4

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	7	-19.760	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 5

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	7	39.615	0.000	0.000

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband linke Achse	Seite: 4

KNOTENKRÄFTE LF 6

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	8	-2.900	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 7

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	8	2.900	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 8

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	10	-15.500	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 9

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	9	-24.200	0.000	0.000

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF2 + LF6
2	1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF3 + LF6
3	1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF4 + LF6
4	1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF5 + LF7
5	Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF6 + LF8
6	Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF6 + LF9

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG1	1.000	5	.89E-04	0.01	Ja	Nein
LG2	1.000	5	.49E-04	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	5	.39E-04	0.01	Ja	Nein
LG4	1.000	5	.19E-03	0.01	Ja	Nein
LG5	1.000	5	.55E-04	0.01	Ja	Nein
LG6	1.000	5	.44E-04	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
Querschnitt-Nr. 5: RO 133x3.6									
11	LG3	MAX N	.00	-29.67	.00	.55	.00	.00	.00
10	LG6	MIN N	.00	-71.15	.00	.57	.00	.00	.00
10	LG1	MAX Q-2	.00	-70.76	.00	.77	.00	.00	.00
10	LG1	MIN Q-2	.86	-70.76	.00	.60	.00	.59	.00
10	LG1	MAX Q-3	.00	-70.76	.00	.77	.00	.00	.00
10	LG1	MIN Q-3	6.00	-70.76	.00	-.77	.00	.00	.00
10	LG1	MAX T	6.00	-70.76	.00	-.77	.00	.00	.00
11	LG5	MIN T	.00	-58.60	.00	.51	-.01	.00	.00
10	LG1	MAX M-2	3.00	-70.76	.00	.00	.00	1.26	.00
10	LG1	MIN M-2	6.00	-70.76	.00	-.77	.00	.00	.00
10	LG1	MAX M-3	1.50	-70.76	.00	.44	.00	.93	.00
10	LG1	MIN M-3	6.00	-70.76	.00	-.77	.00	.00	.00
Querschnitt-Nr. 6: RD 27									
13	LG1	MAX N	8.49	104.68	.00	-.18			
18	LG1	MIN N	.00	.00	.00	.18			
12	LG4	MAX Q-2	.00	90.56	.00	.18			
12	LG4	MIN Q-2	.00	90.56	.00	.18			
12	LG4	MAX Q-3	.00	90.56	.00	.18			
12	LG4	MIN Q-3	8.49	90.92	.00	-.18			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband linke Achse	Seite: 5

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

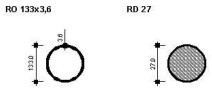
BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
10-21

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - 1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast
LG2 - 1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast
LG3 - 1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast
LG4 - 1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast
LG5 - Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran
LG6 - Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
5	1	RO 133x3,6	612.63 14.63	306.55 1.00	306.55 1.00
6	1	RD 27	5.22 5.73	2.61 1.00	2.61 1.00

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 5 - RO 133x3,6							
Sigma gesamt	10	3.000	10	LG1	-7.57	21.82	0.35
Tau gesamt	10	0.000	1	LG1	0.11	12.60	0.01
Sigma-v	10	3.000	10	LG1	7.57	21.82	0.35
Querschnitt Nr. 6 - RD 27							
Sigma gesamt	13	8.490	1	LG1	18.27	21.82	0.84
Tau gesamt	12	0.000	37	LG4	-0.04	12.60	0.00
Sigma-v	13	8.490	37	LG1	18.27	21.82	0.84

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband linke Achse	Seite: 6

KAPPA1 - BIEGEKNICKNACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	10,11
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG1 1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast
	LG2 1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast
	LG3 1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast
	LG4 1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast
	LG5 Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran
	LG6 Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Bemessungsmethode nach DIN 18800:	Nachweismethode 1 nach El. (321)
Nachweisverfahren:	Elastisch-Plastisch nach DIN 18800
Überprüfung von grenz (b/t)	☒

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	210000.000	81000.000	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

QUERSCHNITTE

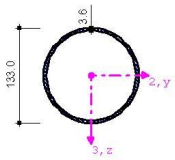
RO 133x3,6

Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung
5	1	RO 133x3,6

KAPPA-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
10	Querschnitt	RO 133x3,6
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	6.000 m
	Knicklast N-Ki,2	176.49 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	1.411
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.413
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☐

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE



Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 5 - RO 133x3,6				
10	0.000	LG1	**0.717**	2) Nachweis nach (3) und (24) erbracht

Querschnittsmaße RO 133x3,6

D	133.0	mm	t	3.6	mm		

Querschnittswerte RO 133x3,6

A	14.63	cm^2	I-2	306.55	cm^4	Ksl-2	a

Schnittgrößen

N	-70.76	kN	M-2,Anf	0.00	kNm	x-M2,max	3.000 m
V-3	0.77	kN	M-2,End	0.00	kNm		
M-2	0.00	kNm	M-2,max	1.26	kNm		

Plastische Grenzschnittgrößen

N-pl,k	351.24	kN	V-pl,3,d	117.36	kN	M-pl,2,d	13.15 kNm
N-pl,d	319.30	kN	Delta-VT3	0.007	<= 0.25		
V-pl,3,k	129.10	kN	M-pl,2,k	14.47	kNm		

Abminderungsfaktor Kappa

s-K,2	6.000	m	Lambda-K,2	1.411		Alpha-2	0.21
N-Ki,2	176.49	kN	Ksl-2	a		Kappa-2	0.413

Beiwert Beta-m,2

u	Ja		Beta-m,2	1.000			

Nachweis

D-N,2	0.537	> 0.1	Delta-n	0.084	<= 0.1		
D-M,2	0.096		D-NM	0.717	< 1.0		

Überprüfung von grenz (b/t) - massgebend Feld Nr. 1

Typ	Rohr		t	3.6	mm	vorh (d/t)	35.944 < 70.000
d	129.4	mm	grenz (d/t)	70.000			

5.2 Wandverband mittlere Achse

5.2.1 Lastfälle

Stabilisierungslast

infolge Stützenschiefstellung nach DIN 18800-2 El. 205 Ansatz von Vorverdrehungen

Normalkräfte in den linken Stützen:

N_1 = 593,065 kN (zweischiffige Halle; Auflagerkraft P_z Knoten 10; LG14)

N_2 = 414,904 kN (zweischiffige Halle; Auflagerkraft P_z Knoten 10; LG1)

Anmerkung: Mit N_1 wird die maximale Last infolge Kranbetrieb berücksichtigt.

Vorverdrehung für einteilige Stäbe $\varphi_0 = \frac{1}{200} * r_1 * r_2 = \frac{1}{200} * \sqrt{\frac{5}{10}} * \frac{1}{2} * \left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right) = 0,00252$

mit $r_1 = \sqrt{\frac{5}{1}} = \sqrt{\frac{5}{10}}$ und $r_2 = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}}\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right)$

n = Anzahl der zu stabilisierenden Stützen

Ersatzbelastung

$$F = (N_1 + (n-1) * N_2) * \varphi_0 = (593,065 + (5,5-1) * 414,904) * 0,00252 = 6,20\,\text{kN}$$

Windlasten

Wind 0° von links

F_k = -40,344 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 3)

F_k = -21,867 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 3)

Wind 0° von rechts

F_k = -30,737 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 4)

F_k = -28,707 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 4)

Wind 90° (Sog auf Giebelwand)

F_k = -19,76 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 5)

F_k = -14,06 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 5)

Wind 90° (Druck auf Giebelwand)

F_k = +39,615 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 6)

F_k = +28,215 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 2; LF 6)

Pufferkräfte

infolge Kranbetrieb

2 t-Kran P = 15,5 kN (gemäß Kran-Datenblatt der Anlage 1)

10 t-Kran P = 24,2 kN (gemäß Kran-Datenblatt der Anlage 1)

5.2.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Wandverband mittlere Achse

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband mittlere Achse	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

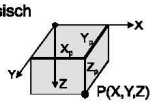
☐ 1D-Durchlaufträger
☐ 2D-Stabwerk
☒ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

12 Knoten
1 Materialien
6 Querschnitte
2 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

24 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
0 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



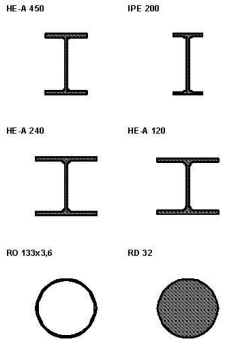
KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	6.000	0.000	0.000
3	Kartesisch	-	0.000	0.000	-6.000
4	Kartesisch	-	6.000	0.000	-6.000
5	Kartesisch	-	0.000	0.000	-7.000
6	Kartesisch	-	6.000	0.000	-7.000
7	Kartesisch	-	0.000	0.000	-8.000
8	Kartesisch	-	6.000	0.000	-8.000
9	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	-10.000
10	Kartesisch Gelagert	-	6.000	0.000	-10.000
11	Kartesisch	-	0.000	0.500	-6.000
12	Kartesisch	-	0.000	0.500	-8.000

MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

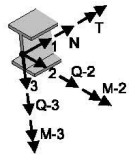
Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband mittlere Achse	Seite: 2



QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I_T A	I_2 A_2	I_3 [cm^4] A_3 [cm^2]
1	1	HE-A 450 α = 90.00°	245.00 178.000	63720.00	9470.00
2	1	IPE 200	7.02 28.500	1940.00	142.00
3	1	HE-A 240	41.70 76.800	7760.00	2770.00
4	1	HE-A 120	6.02 25.300	606.00	231.00
5	1	RO 133x3,6	612.63 14.635	306.55	306.55
6	1	RD 32	10.29 8.040	5.15	5.15

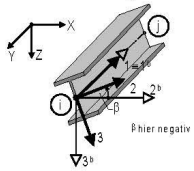
Lokale Gelenkdefinition



STABENDGELENKE

Gelenk-Nr.	Bezugs-Achse	N/Q-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			T/M-Gelenk bzw. Feder [kNm/rad]		
		1-Normal	2-Schub	3-Schub	1-Torsion	2-Biegung	3-Biegung
1	Lokal	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
2	Lokal	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

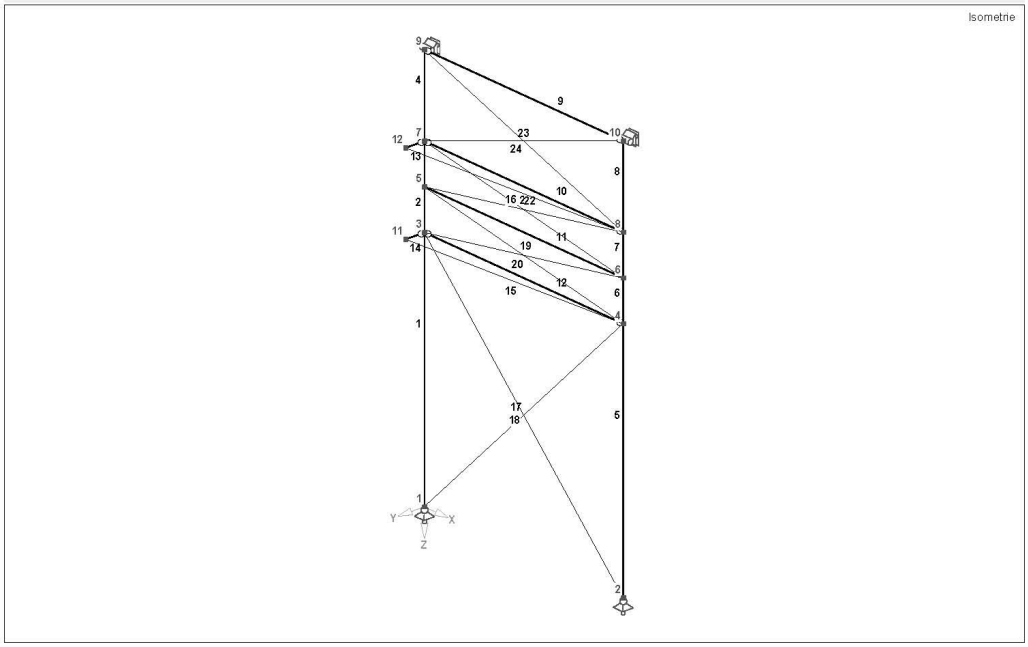
Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	3	0.00	1	1	-	-	-	6.000	VERT
2	Balken	3	5	0.00	1	1	-	-	-	1.000	VERT
3	Balken	5	7	0.00	1	1	-	-	-	1.000	VERT
4	Balken	7	9	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
5	Balken	2	4	0.00	1	1	-	-	-	6.000	VERT
6	Balken	4	6	0.00	1	1	-	-	-	1.000	VERT
7	Balken	6	8	0.00	1	1	-	-	-	1.000	VERT
8	Balken	8	10	0.00	1	1	-	-	-	2.000	VERT
9	Balken	9	10	0.00	2	2	2	2	-	6.000	HORI
10	Balken	7	8	0.00	5	5	2	2	-	6.000	HORI
11	Balken	5	6	0.00	5	5	-	-	-	6.000	HORI
12	Balken	3	4	0.00	5	5	2	2	-	6.000	HORI
13	Balken	7	12	0.00	4	4	1	-	-	0.500	HORI
14	Balken	3	11	0.00	3	3	1	-	-	0.500	HORI
15	Fachwerkstab	4	11	0.00	6	6	-	-	-	6.021	HORI
16	Fachwerkstab	8	12	0.00	6	6	-	-	-	6.021	HORI
17	Zugstab	1	4	0.00	6	6	-	-	-	8.485	ALLG
18	Zugstab	2	3	0.00	6	6	-	-	-	8.485	ALLG
19	Zugstab	3	6	0.00	6	6	-	-	-	6.083	ALLG
20	Zugstab	4	5	0.00	6	6	-	-	-	6.083	ALLG
21	Zugstab	5	8	0.00	6	6	-	-	-	6.083	ALLG
22	Zugstab	7	6	0.00	6	6	-	-	-	6.083	ALLG
23	Zugstab	7	10	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG
24	Zugstab	8	9	0.00	6	6	-	-	-	6.325	ALLG

AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1,2	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
2	9,10	0.0	0.0	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband mittlere Achse	Seite: 3

STRUKTUR



BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Wind 0° von links (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
3	Wind 0° von rechts (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 90° (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
5	Wind 90° (Druck auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
6	Stabilisierungslast für Sog auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
7	Stabilisierungslast für Druck auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
8	Pufferkraft 2t-Kran	1.00	Außergewöhnlich	-
9	Pufferkraft 10t-Kran	1.00	Außergewöhnlich	-

KNOTENKRÄFTE LF 2

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	9	-40.344	0.000	0.000
2	5	-21.867	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 3

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	9	-30.737	0.000	0.000
2	5	-28.707	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 4

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	9	-19.760	0.000	0.000
2	5	-14.060	0.000	0.000

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband mittlere Achse	Seite: 4

KNOTENKRÄFTE LF 5

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	9	39.615	0.000	0.000
2	5	28.215	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 6

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	10	-6.200	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 7

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	10	6.200	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 8

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	12	-15.500	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 9

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	11	-24.200	0.000	0.000

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF2 + LF6
2	1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF3 + LF6
3	1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF4 + LF6
4	1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF5 + LF7
5	Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF6 + LF8
6	Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF6 + LF9

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
Querschnitt-Nr. 5: RO 133x3,6									
10	LG3	MAX N	.00	-29.19	.00	.55	.00	.00	.00
12	LG4	MIN N	.00	-82.63	.00	.87	.00	.00	.00
10	LG1	MAX Q-2	.86	-53.59	.00	.50	.00	.50	.00
10	LG1	MIN Q-2	.00	-53.59	.00	.66	.00	.00	.00
11	LG1	MAX Q-3	.86	-55.21	.00	.95	.00	-1.64	.00
11	LG4	MIN Q-3	4.50	-75.74	.00	-1.00	.00	-1.18	.00
10	LG1	MAX T	6.00	-53.59	.00	-.66	.00	.00	.00
10	LG5	MIN T	.00	-48.67	.00	.47	-.01	.00	.00
11	LG4	MAX M-2	.30	-75.74	.00	-.05	.00	1.58	.00
11	LG4	MIN M-2	6.00	-75.74	.00	-.86	.00	-2.61	.00
11	LG6	MAX M-3	.00	-44.27	.00	.71	-.01	-1.84	.01
11	LG6	MIN M-3	6.00	-44.27	.00	.03	-.01	1.07	-.01
Querschnitt-Nr. 6: RD 32									
17	LG4	MAX N	8.49	160.20	.00	-.26			
15	LG1	MIN N	.00	.00	.00	.26			
15	LG1	MAX Q-2	.00	.00	.00	.26			
15	LG1	MIN Q-2	.00	.00	.00	.26			
15	LG1	MAX Q-3	.00	.00	.00	.26			
15	LG1	MIN Q-3	6.02	.00	.00	-.26			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband mittlere Achse	Seite: 5

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
10-12,15-24

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - 1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast
LG2 - 1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast
LG3 - 1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast
LG4 - 1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast
LG5 - Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran
LG6 - Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82

RO 133x3,6 RD 32

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
5	1	RO 133x3,6	612.63 14.63	306.55 1.00	306.55 1.00
6	1	RD 32	10.29 8.04	5.15 1.00	5.15 1.00

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 5 - RO 133x3,6							
Sigma gesamt	11	6.000	28	LG4	-10.84	21.82	0.50
Tau gesamt	11	4.290	1	LG4	-0.14	12.60	0.01
Sigma-v	11	6.000	28	LG4	10.84	21.82	0.50
Querschnitt Nr. 6 - RD 32							
Sigma gesamt	17	8.490	1	LG4	19.93	21.82	0.91
Tau gesamt	15	0.000	37	LG1	-0.04	12.60	0.00
Sigma-v	17	8.490	37	LG4	19.93	21.82	0.91

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband mittlere Achse	Seite: 6

KAPPA1 - BIEGEKNICKNACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	10-12
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG1 1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast
	LG2 1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast
	LG3 1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast
	LG4 1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast
	LG5 Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 2t-Kran
	LG6 Wind 0° von links+Stabilisierungslast+Pufferkraft 10t-Kran
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Bemessungsmethode nach DIN 18800:	Nachweismethode 1 nach El. (321)
Nachweisverfahren:	Elastisch-Plastisch nach DIN 18800
Überprüfung von grenz (b/t)	☒

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	210000.000	81000.000	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

RO 133x3,6

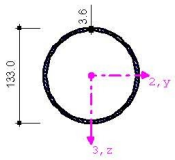
QUERSCHNITTE

Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung
5	1	RO 133x3,6

KAPPA-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
11	Querschnitt	RO 133x3,6
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	6.000 m
	Knicklast N-Ki,2	176.49 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	1.411
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.413
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☐

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE



Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 5 - RO 133x3,6				
11	0.000	LG4	**0.856**	2) Nachweis nach (3) und (24) erbracht

Querschnittsmaße RO 133x3,6

D	133.0	mm	t	3.6	mm		

Querschnittswerte RO 133x3,6

A	14.63	cm^2	I-2	306.55	cm^4	Ksl-2	a

Schnittgrößen

N	-75.74	kN	M-2	1.58	kNm	M-2,End	-2.61 kNm
V-3	0.06	kN	M-2,Anf	1.58	kNm		

Plastische Grenzschnittgrößen

N-pl,k	351.24	kN	V-pl,3,d	117.36	kN	M-pl,2,d	13.15 kNm
N-pl,d	319.30	kN	Delta-VT3	0.001	<= 0.25		
V-pl,3,k	129.10	kN	M-pl,2,k	14.47	kNm		

Abminderungsfaktor Kappa

s-K,2	6.000	m	Lambda-K,2	1.411		Alpha-2	0.21
N-Ki,2	176.49	kN	Ksl-2	a		Kappa-2	0.413

Beiwert Beta-m,2

u	Ja		Beta-m,2	1.000			

Nachweis

D-N,2	0.575	> 0.1	Delta-n	0.083	<= 0.1		
D-M,2	0.198		D-NM	0.856	< 1.0		

Überprüfung von grenz (b/t) - massgebend Feld Nr. 1

Typ	Rohr		t	3.6	mm	vorh (d/t)	35.944 < 70.000
d	129.4	mm	grenz (d/t)	70.000			

5.3 Wandverband rechte Achse

5.3.1 Lastfälle

Stabilisierungslast

infolge Stützenschiefstellung nach DIN 18800-2 El. 205 Ansatz von Vorverdrehungen

Normalkräfte in den linken Stützen:

N = 163,319 kN (zweischiffige Halle; Auflagerkraft P_z Knoten 21; LG11)

$$\text{Vorverdrehung für einteilige Stäbe} \quad \varphi_0 = \frac{1}{200} * r_1 * r_2 = \frac{1}{200} * \sqrt{\frac{5}{7}} * \frac{1}{2} * \left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right) = 0,00301$$

$$\text{mit} \quad r_1 = \sqrt{\frac{5}{1}} = \sqrt{\frac{5}{7}} \quad \text{und} \quad r_2 = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}}\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{5,5}}\right)$$

$$n = \text{Anzahl der zu stabilisierenden Stützen}$$

Ersatzbelastung

$$F = n * N * \varphi_0 = 5,5 * 163,319 * 0,00301 = 2,70\,\text{kN}$$

Windlasten

Wind 0° von links

F_k = -19,831 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 3)

Wind 0° von rechts

F_k = -32,686 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 4)

Wind 90° (Sog auf Giebelwand)

F_k = -14,060 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 5)

Wind 90° (Druck auf Giebelwand)

F_k = +28,215 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Auflagerkraft P_z Knoten 14; LF 6)

5.3.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Wandverband rechte Achse

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband rechte Achse	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

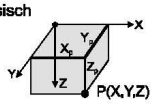
☐ 1D-Durchlaufträger
☒ 2D-Stabwerk
☐ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

4 Knoten
1 Materialien
3 Querschnitte
1 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

5 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
0 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0.000		0.000
	Gelagert				
2	Kartesisch	-	6.000		0.000
	Gelagert				
3	Kartesisch	-	0.000		-7.000
4	Kartesisch	-	6.000		-7.000

MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

HE-A 400 IPE 200

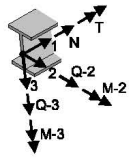
RD 24

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_2 [cm⁴]	A [cm²]	A_3 [cm²]
1	1	HE-A 400	45070.00	159.000	
2	1	IPE 200	1940.00	28.500	
3	1	RD 24	1.63	4.520	

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Wandverband rechte Achse	Seite: 2

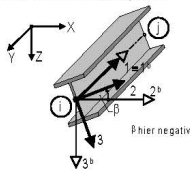
Lokale Gelenkdefinition



STABENDGELENKE

Gelenk-Nr.	Bezugs-Achse	N/Q-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			T/M-Gelenk bzw. Feder [kNm/rad]		
		1-Normal	2-Schub	3-Schub	1-Torsion	2-Biegung	3-Biegung
1	Lokal	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	3	0.00	1	1	-	-	-	7.000	VERT
2	Balken	2	4	0.00	1	1	-	-	-	7.000	VERT
3	Balken	3	4	0.00	2	2	1	1	-	6.000	HORI
4	Zugstab	1	4	0.00	3	3	-	-	-	9.220	ALLG
5	Zugstab	2	3	0.00	3	3	-	-	-	9.220	ALLG

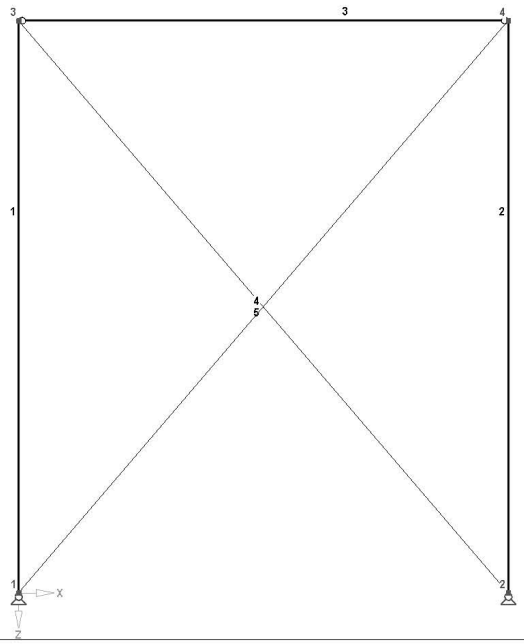
AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1,2	0.0	0.0	Ja		Ja		Nein	

STRUKTUR

Knotennummerierung
Stabnummerierung

Entgegen der Y-Richtung



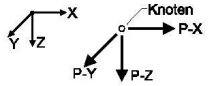
Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband rechte Achse	Seite: 3

BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Wind 0° von links (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
2	Wind 0° von rechts (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
3	Wind 90° (Sog auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
4	Wind 90° (Druck auf Giebelwand)	1.00	Veränderlich	-
5	Stabilisierungslast für Sog auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-
6	Stabilisierungslast für Druck auf Giebelwand	1.00	Imperfektion	-

Globale Knotenkraft



KNOTENKRÄFTE LF 1

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	-19.831	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 2

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	-32.686	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 3

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	-14.060	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 4

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	28.215	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 5

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	4	-2.700	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 6

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	4	2.700	0.000	0.000

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.50*LF1 + LF5
2	1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.50*LF2 + LF5
3	1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.50*LF3 + LF5
4	1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast	1.00	1.10	1.50*LF4 + LF6

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Wandverband rechte Achse	Seite: 4

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
4	LG1	Druck -> Ausfall							
	LG2	Druck -> Ausfall							
	LG3	Druck -> Ausfall							
	LG4	Max N	.00	69.31	.00	.00			
		Min N	.00	69.31	.00	.00			
		Max Q-3	.00	69.31	.00	.00			
		Min Q-3	9.22	69.31	.00	.00			
5	LG1	Max N	9.22	49.93	.00	.00			
		Min N	.00	49.93	.00	.00			
		Max Q-3	.00	49.93	.00	.00			
		Min Q-3	9.22	49.93	.00	.00			
	LG2	Max N	9.22	79.66	.00	.00			
		Min N	.00	79.66	.00	.00			
		Max Q-3	.00	79.66	.00	.00			
		Min Q-3	9.22	79.66	.00	.00			
	LG3	Max N	.00	36.59	.00	.00			
		Min N	.00	36.59	.00	.00			
		Max Q-3	.00	36.59	.00	.00			
		Min Q-3	9.22	36.59	.00	.00			
	LG4	Druck -> Ausfall							

STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
4,5

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG1 - 1.5*Wind 0° von links + Stabilisierungslast
LG2 - 1.5*Wind 0° von rechts + Stabilisierungslast
LG3 - 1.5*Wind 90° Sog + Stabilisierungslast
LG4 - 1.5*Wind 90° Druck + Stabilisierungslast

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82

RD 24

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
3	1	RD 24	0.00 4.52	1.63 1.00	0.00 1.00

MAX. SPANNUNGEN IN STÄBEN

Spannungs-art	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Stab Nr. 4: Querschnitt Nr. 3 - RD 24						
Sigma gesamt	0.000	1	LG4	15.33	21.82	0.70
Tau gesamt	0.000	1	LG1	0.00	12.60	0.00
Sigma-v	0.000	1	LG4	15.33	21.82	0.70
Stab Nr. 5: Querschnitt Nr. 3 - RD 24						
Sigma gesamt	0.000	1	LG2	17.62	21.82	0.81
Tau gesamt	0.000	1	LG1	0.00	12.60	0.00
Sigma-v	0.000	1	LG2	17.62	21.82	0.81

6 Pfette IPE200

Für den Nachweis der Pfetten werden die maximal auftretenden Schnittgrößen verwendet. Da diese Schnittgrößen nicht gleichzeitig an einer Pfette auftreten, liegt der Nachweis auf der sicheren Seite.

6.1 Lastfälle

maximale Streckenlasten

q_d = 7,296 kN/m (Trapezblech 1. Hallenschiff; Auflager 2; LG 2)

q_d = 8,488 kN/m (Trapezblech 2. Hallenschiff; Auflager 3; LG 2)

maximale Normalkraft infolge Dachverbandswirkung

N_d = -62,01 kN (Dachverband 1. Hallenschiff; Stab 13; LG 1)

N_d = -49,80 kN (Dachverband 2. Hallenschiff; Stab 19; LG 2)

6.2 Ausdruckprotokoll RSTAB 5.14 – Pfette IPE200

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Pfette IPE200	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☒ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

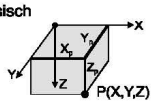
☐ 1D-Durchlaufträger
☐ 2D-Stabwerk
☒ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

5 Knoten
1 Materialien
1 Querschnitte
0 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

4 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
1 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000	0.000	0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	3.000	0.000	0.000
3	Kartesisch Gelagert	-	6.000	0.000	0.000
4	Kartesisch Gelagert	-	12.000	0.000	0.000
5	Kartesisch Gelagert	-	18.000	0.000	0.000

MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

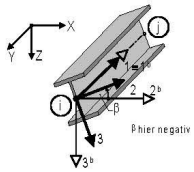
Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Pfette IPE200	Seite: 2

IPE 200

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_T / A	I_2 / A_2	I_3 [cm^4] / A_3 [cm^2]
1	1	IPE 200	7.02 28.500	1940.00	142.00

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	2	0.00	1	1	-	-	-	3.000	HORI
2	Balken	2	3	0.00	1	1	-	-	-	3.000	HORI
3	Balken	3	4	0.00	1	1	-	-	-	6.000	HORI
4	Balken	4	5	0.00	1	1	-	-	-	6.000	HORI

AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Drehung [°] Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
2	3-5	0.0	0.0	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
3	2	0.0	0.0	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein

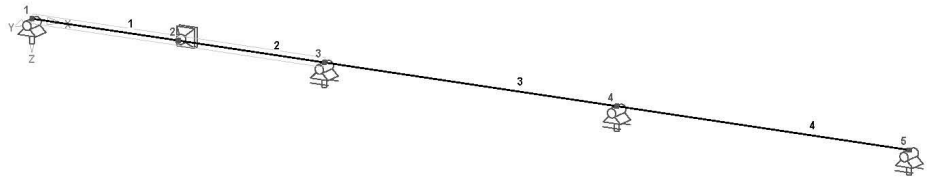
STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1	Pfette im Verbandsfeld	1,2

STRUKTUR

Knotennummerierung
Stabnummerierung

Isometrie

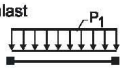


BELASTUNG

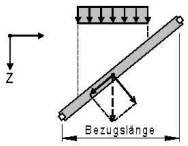
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Stablast: Trapezblech-NW 1.Hallenschiff LG 2	1.00	Veränderlich	-
3	Stablast: Trapezblech-NW 2.Hallenschiff LG 2	1.00	Veränderlich	-
4	N-Kraft: NW-Dachverband 1.Hallenschiff LG1	1.00	Veränderlich	-
5	N-Kraft: NW-Dachverband 2.Hallenschiff LG1	1.00	Veränderlich	-

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN

LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	7.296			

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Pfette IPE200	Seite: 3

STABLASTEN LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	8.488			

KNOTENKRÄFTE LF 4

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	-27.525	0.000	0.000
2	4	-34.470	0.000	0.000

KNOTENKRÄFTE LF 5

Nr.	Belastete Knoten	Knotenkräfte P_X [kN]	P_Y [kN]	P_Z [kN]
1	3	-19.590	0.000	0.000
2	4	-30.200	0.000	0.000

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	Gebrauchstauglichkeit	1.00	1.10	1.35*LF1 + 0.74*LF3 + 0.74*LF5
2	Pfette 1. Hallenschiff	1.00	1.10	1.35*LF1 + LF2 + LF4
3	Pfette 2. Hallenschiff	1.00	1.10	1.35*LF1 + LF3 + LF5

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG2	1.000	2	.00E+00	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	2	.00E+00	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
1	LG2	Max N	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Min N	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Min Q-3	3.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Max T	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Min T	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Max M-2	2.40	-61.99	.00	.02	.00	22.84	.00
		Min M-2	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-61.99	.00	18.86	.00	.00	.00
	LG3	Max N	3.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min N	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Max Q-2	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Min Q-2	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Min Q-3	3.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Max T	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Min T	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Max M-2	2.40	-49.79	.00	.02	.00	26.20	.00
		Min M-2	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Max M-3	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
		Min M-3	.00	-49.79	.00	21.67	.00	.00	.00
2	LG2	Max N	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min N	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Max Q-2	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min Q-2	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Max Q-3	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min Q-3	3.00	-61.99	.00	-27.69	.00	-27.89	.00
		Max T	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min T	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Max M-2	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min M-2	3.00	-61.99	.00	-27.69	.00	-27.89	.00
		Max M-3	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
		Min M-3	.00	-61.99	.00	-4.77	.00	21.41	.00
	LG3	Max N	3.00	-49.79	.00	-31.95	.00	-32.13	.00
		Min N	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Max Q-2	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min Q-2	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Max Q-3	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min Q-3	3.00	-49.79	.00	-31.95	.00	-32.13	.00
		Max T	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min T	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Max M-2	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min M-2	3.00	-49.79	.00	-31.95	.00	-32.13	.00
		Max M-3	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
		Min M-3	.00	-49.79	.00	-5.47	.00	24.56	.00
3	LG2	Max N	6.00	-34.47	.00	-22.55	.00	-27.22	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Pfette IPE200	Seite: 4

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
3	LG2	Min N	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Max Q-2	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Min Q-2	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Max Q-3	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Min Q-3	6.00	-34.47	.00	-22.55	.00	-27.22	.00
		Max T	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Min T	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Max M-2	3.00	-34.47	.00	.11	.00	6.68	.00
		Min M-2	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Max M-3	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
		Min M-3	.00	-34.47	.00	22.77	.00	-27.89	.00
	LG3	Max N	6.00	-30.20	.00	-26.14	.00	-31.52	.00
		Min N	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Max Q-2	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Min Q-2	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Max Q-3	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Min Q-3	6.00	-30.20	.00	-26.14	.00	-31.52	.00
		Max T	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Min T	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Max M-2	3.00	-30.20	.00	.10	.00	7.77	.00
		Min M-2	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Max M-3	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
		Min M-3	.00	-30.20	.00	26.34	.00	-32.13	.00
4	LG2	Max N	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Min N	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Max Q-2	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Min Q-2	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Min Q-3	6.00	.00	.00	-18.26	.00	.00	.00
		Max T	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Min T	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Max M-2	3.60	.00	.00	-.02	.00	21.94	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Max M-3	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
		Min M-3	.00	.00	.00	27.33	.00	-27.22	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Min N	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Max Q-2	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Min Q-2	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Min Q-3	6.00	.00	.00	-21.12	.00	.00	.00
		Max T	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Min T	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Max M-2	3.60	.00	.00	-.02	.00	25.37	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Max M-3	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00
		Min M-3	.00	.00	.00	31.62	.00	-31.52	.00

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

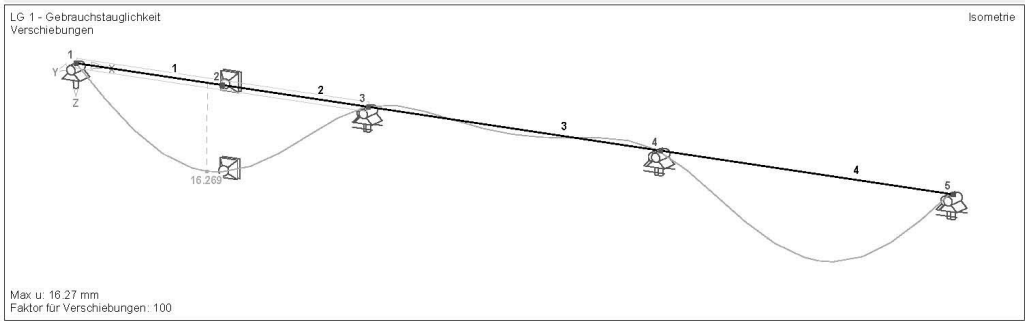
Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
1	LG2	-61.995	.000	18.147	.000	.000	.000
	LG3	-49.790	.000	21.014	.000	.000	.000
2	LG2	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3	LG2	.000	.000	50.347	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	58.199	.000	.000	.000
4	LG2	.000	.000	50.013	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	57.891	.000	.000	.000
5	LG2	.000	.000	18.258	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	21.117	.000	.000	.000
ΣKräfte	LG2	-61.995	.000	136.765			
ΣLasten		-61.995	.000	136.765			
ΣKräfte	LG3	-49.790	.000	158.221			
ΣLasten		-49.790	.000	158.221			

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z
1	LG1	Max u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-X	3.00	-.20315	.00000	16.00299
		Max u-Y	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-Y	.00	.00000	.00000	.00000
		Max u-Z	2.70	-.18284	.00000	16.26770
		Min u-Z	.00	.00000	.00000	.00000

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Pfette IPE200	Seite: 5

GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT



STAHL1 - SPANNUNGSANALYSE

BASISANGABEN

ZU BEMESSENDE STÄBE
Alle

ZU BEMESSENDE LASTFÄLLE
LG2 - Pfette 1. Hallenschiff
LG3 - Pfette 2. Hallenschiff

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm^2] Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t <= 40 mm	21.82	12.6	21.82

IPE 200

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnittsbezeichnung Querschnittsdrehung	I-T [cm^4] A [cm^2]	I-2 [cm^4] Alpha pl. y	I-3 [cm^4] Alpha pl. z
1	1	IPE 200	7.02 28.50	1940.00 1.14	142.00 1.25

MAX. SPANNUNGEN IN QUERSCHNITTEN

Spannungs-art	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm^2] vorh	grenz	Aus-nutzung
Querschnitt Nr. 1 - IPE 200							
Sigma gesamt	2	3.000	6	LG3	-18.31	21.82	0.84
Tau gesamt	2	3.000	13	LG3	-3.23	12.60	0.26
Sigma-v	2	3.000	8	LG3	18.36	21.82	0.84

BGDK1 - BGDK-NACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	Alle
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG2 Pfette 1. Hallenschiff LG3 Pfette 2. Hallenschiff
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Ermittlungsart von Zeta für M-Ki:	Lösen des Minimums des elastischen Potentials

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	2.100E+05	80999.997	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Pfette IPE200	Seite: 6

IPE 200

QUERSCHNITTE

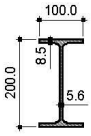
Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Anmerkung
1	1	IPE 200	

BGDK-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
1	Querschnitt	IPE 200
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
2	Querschnitt	IPE 200
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
3	Querschnitt	IPE 200
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Drehbettung	Ja
	Drehbettungstyp	Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)
	Material	Stahl S 235
	Elastizitätsmodul E	210000.000 N/mm^2
	Bezeichnung des Bauteils	
	Trapezblechdicke t	1.250 mm
	Trapezblechlage	Positivlage
	Trägheitsmoment I-a	59.800 cm^4/m
	Ermittlungsart von c-ThA,k	Nach DIN 18800, Tabelle 7
	c-ThA,k quer	
	LG2 - Pfette 1. Hallenschiff	3.100 kNm/m
	LG3 - Pfette 2. Hallenschiff	3.100 kNm/m
	Abstand Riegel a	3.180 m
	Durchlaufwirkung	Innenfeld
	Nachweis über Drehbettung	Ja
	Drehbettungsbeiwert k-Theta	Automatisch für alle LF/LG
	Nachweisverfahren	Elastisch - Elastisch
	Beanspruchung Verbindungsmittel	Nein
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger
4	Querschnitt	IPE 200
	Lagerungsart	Gabellagerung
	Drehbettung	Ja
	Drehbettungstyp	Kontinuierlich (z.B. Trapezblech)
	Material	Stahl S 235
	Elastizitätsmodul E	210000.000 N/mm^2
	Bezeichnung des Bauteils	
	Trapezblechdicke t	1.250 mm
	Trapezblechlage	Positivlage
	Trägheitsmoment I-a	59.800 cm^4/m
	Ermittlungsart von c-ThA,k	Nach DIN 18800, Tabelle 7
	c-ThA,k quer	
	LG2 - Pfette 1. Hallenschiff	3.100 kNm/m
	LG3 - Pfette 2. Hallenschiff	3.100 kNm/m
	Abstand Riegel a	3.180 m
	Durchlaufwirkung	Innenfeld
	Nachweis über Drehbettung	Ja
	Drehbettungsbeiwert k-Theta	Automatisch für alle LF/LG
	Nachweisverfahren	Elastisch - Elastisch
	Beanspruchung Verbindungsmittel	Nein
	Ermittlungsart M-Ki	Automatisch für alle LF/LG
	Lastangriffslage	Am Obergurt
	Trägerart	Gewalzter Träger

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Pfette IPE200	Seite: 7

IPE 200



NACHWEIS STABWEISE

Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
1	2400.000	LG3	**0.947**	5) Nachweis nach (27) erbracht

Querschnittsmaße IPE 200									
bo	100.0	mm		bu	100.000	mm	s	5.600	mm
to	8.5	mm		tu	8.500	mm	h	200.0	mm
Querschnittswerte									
A	28.50	cm^2		I-Om	12990.0	cm^6	W-z	28.50	cm^3
I-y	1940.000	cm^4		i-z	2.24	cm	W-pl,y	220.00	cm^3
I-z	142.00	cm^4		i-p	8.56	cm	W-pl,z	44.61	cm^3
I-T	7.020	cm^4		W-y	194.00	cm^3	Ksl-z	b	
Schnittgrößen									
N	-49.79	kN		M-y,Anf	0.00	kNm	x-My,max	2.400	m
V-z	0.02	kN		M-y,End	24.56	kNm			
M-y	26.20	kNm		M-y,max	26.20	kNm			
Plastische Schnittgrößen									
N-pl,k	684.00	kN		V-pl,z,k	148.60	kN	M-pl,y,k	52.80	kNm
N-pl,d	621.82	kN		V-pl,z,d	135.09	kN	M-pl,y,d	48.00	kNm
Biegedrillknicklast N-Ki									
Beta-z	1.000			l-0	3.000	m	s-K	3.000	m
Beta-0	1.000			c	16.29	cm	N-Ki	327.013	kN
l	3.000	m		Lambda-V	133.93				
Abminderungsfaktor Kappa-z									
Ksl-z	b			Lambda-K,z	1.446				
Alpha	0.340			Kappa-z	0.3628				
Biegedrillknickmoment M-Ki									
z-p	-100.000	mm		c	16.29	cm			
Zeta	1.212			M-Ki	47.713	kNm			
Abminderungsfaktor Kappa-M									
n	2.500			Lambda-M	1.052	> 0.4			
Q-Last z	Ja			Kappa-M	0.718				
Beiwert k-y									
Psi-y	0.000			Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	1.446	
Beta-M,Psi,	1.800			M-Q,y	9.80	kNm	a-y	0.1999	
Q-Last z	Ja			Delta-M,y	26.20	kNm	k-y	0.956	
E-Last z	Nein			Beta-M,y	1.613				
Nachweis									
D1	0.221	> 0.1		D2	0.727		D	0.947	< 1.0

2	3000.000	LG3	**0.883**	5) Nachweis nach (27) erbracht

Querschnittsmaße IPE 200									
bo	100.0	mm		bu	100.000	mm	s	5.600	mm
to	8.5	mm		tu	8.500	mm	h	200.0	mm
Querschnittswerte									
A	28.50	cm^2		I-Om	12990.0	cm^6	W-z	28.50	cm^3
I-y	1940.000	cm^4		i-z	2.24	cm	W-pl,y	220.00	cm^3
I-z	142.00	cm^4		i-p	8.56	cm	W-pl,z	44.61	cm^3
I-T	7.020	cm^4		W-y	194.00	cm^3	Ksl-z	b	
Schnittgrößen									
N	-49.79	kN		M-y	-32.13	kNm	M-y,End	-32.13	kNm
V-z	-31.95	kN		M-y,Anf	24.56	kNm			
Plastische Schnittgrößen									
N-pl,k	684.00	kN		V-pl,z,k	148.60	kN	M-pl,y,k	52.80	kNm
N-pl,d	621.82	kN		V-pl,z,d	135.09	kN	M-pl,y,d	48.00	kNm
Biegedrillknicklast N-Ki									
Beta-z	1.000			l-0	3.000	m	s-K	3.000	m
Beta-0	1.000			c	16.29	cm	N-Ki	327.013	kN
l	3.000	m		Lambda-V	133.93				
Abminderungsfaktor Kappa-z									
Ksl-z	b			Lambda-K,z	1.446				
Alpha	0.340			Kappa-z	0.3628				
Biegedrillknickmoment M-Ki									
z-p	-100.000	mm		c	16.29	cm			
Zeta	2.748			M-Ki	108.209	kNm			
Abminderungsfaktor Kappa-M									
n	2.500			Lambda-M	0.699	> 0.4			
Q-Last z	Ja			Kappa-M	0.940				
Beiwert k-y									
Psi-y	-0.764			Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	1.446	
Beta-M,Psi,	2.335			M-Q,y	9.59	kNm	a-y	0.3186	
Q-Last z	Ja			Delta-M,y	56.69	kNm	k-y	0.930	
E-Last z	Nein			Beta-M,y	2.160				
Nachweis									
D1	0.221	> 0.1		D2	0.662		D	0.883	< 1.0

3	0.000	LG3	**1.005**	18) Nachweis nach El. (309) sowie nach Gl. (27) nicht erbracht

Querschnittsmaße IPE 200									
bo	100.0	mm		bu	100.000	mm	s	5.600	mm
to	8.5	mm		tu	8.500	mm	h	200.0	mm
Querschnittswerte									
A	28.50	cm^2		I-Om	12990.0	cm^6	W-z	28.50	cm^3
I-y	1940.000	cm^4		i-z	2.24	cm	W-pl,y	220.00	cm^3
I-z	142.00	cm^4		i-p	8.56	cm	W-pl,z	44.61	cm^3
I-T	7.020	cm^4		W-y	194.00	cm^3	Ksl-z	b	
Schnittgrößen									
N	-30.20	kN		M-y,Anf	-32.13	kNm	x-My,max	3.000	m
V-z	26.34	kN		M-y,End	-31.52	kNm			
M-y	-32.13	kNm		M-y,max	7.77	kNm			
Plastische Schnittgrößen									
N-pl,k	684.00	kN		V-pl,z,k	148.60	kN	M-pl,y,k	52.80	kNm
N-pl,d	621.82	kN		V-pl,z,d	135.09	kN	M-pl,y,d	48.00	kNm
Drehbettung									
c-ThM,k	157.96	kNm/m		c-ThP,k	49.23	kNm/m	I-T,Th	38.56	cm^4
c-ThA,k	8.61	kNm/m		c-Th,k	7.00	kNm/m			
Biegedrillknicklast N-Ki									
Beta-z	1.000			l-0	6.000	m	s-K	6.000	m
Beta-0	1.000			c	62.55	cm	N-Ki	81.753	kN
l	6.000	m		Lambda-V	267.86				
Nachweis über Drehbettung									
Ksl-z	b			Kappa-z	0.1065		D1	0.456	> 0.1

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Pfette IPE200	Seite: 8

NACHWEIS STABWEISE

Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart					
	Alpha	0.340		N	-30.20	kN			
	Lambda-K,z	2.893		N-pl,d	621.82	kN			
	Biegedrillknickmoment M-Ki								
	z-p	-100.000	mm	c	62.55	cm			
	Zeta	4.785		M-Ki	225.902	kNm			
	Abminderungsfaktor Kappa-M								
	n	2.500		Lambda-M	0.483	> 0.4			
	Q-Last z	Ja		Kappa-M	0.990				
	Beiwert k-y								
	Psi-y	0.981		Beta-M,Q,y	1.300		Lambda-K,z	2.893	
	Beta-M,Psi,	1.113		M-Q,y	39.60	kNm	a-y	0.4134	
	Q-Last z	Ja		Delta-M,y	39.90	kNm	k-y	0.811	
	E-Last z	Nein		Beta-M,y	1.299				
	Nachweis								
	D1	0.456	> 0.1	D2	0.549		D	1.005	> 1.0
4	0.000	LG3	**0.907**	3) Nachweis über Drehbettung nach El. (309) erbracht					
	Querschnittsmaße IPE 200								
	bo	100.0	mm	bu	100.000	mm	s	5.600	mm
	to	8.5	mm	tu	8.500	mm	h	200.0	mm
	Querschnittswerte								
	A	28.50	cm^2	I-Om	12990.0	cm^6	W-z	28.50	cm^3
	I-y	1940.000	cm^4	i-z	2.24	cm	W-pl,y	220.00	cm^3
	I-z	142.00	cm^4	i-p	8.56	cm	W-pl,z	44.61	cm^3
	I-T	7.020	cm^4	W-y	194.00	cm^3	Ksl-z	b	
	Schnittgrößen								
	N	0.00	kN	M-y,Anf	-31.52	kNm	x-My,max	3.600	m
	V-z	31.62	kN	M-y,End	0.00	kNm			
	M-y	-31.52	kNm	M-y,max	25.37	kNm			
	Plastische Schnittgrößen								
	N-pl,k	684.00	kN	V-pl,z,k	148.60	kN	M-pl,y,k	52.80	kNm
	N-pl,d	621.82	kN	V-pl,z,d	135.09	kN	M-pl,y,d	48.00	kNm
	Drehbettung								
	c-ThM,k	157.96	kNm/m	c-ThP,k	49.23	kNm/m	I-T,Th	38.56	cm^4
	c-ThA,k	8.61	kNm/m	c-Th,k	7.00	kNm/m			
	Biegedrillknicklast N-Ki								
	Beta-z	1.000		l-0	6.000	m	s-K	6.000	m
	Beta-0	1.000		c	62.55	cm	N-Ki	81.753	kN
	l	6.000	m	Lambda-V	267.86				
	Nachweis über Drehbettung								
	N	0.00	kN	erf c Th,k	11.452	kNcm/cm	erf c-Th,k,re	6.351	kNcm/cm
	GebDrAchs	Nein		Sigma-max	162.5	N/mm^2	vorh c-Th,k	7.004	kNcm/cm
	k-Th	3.500		f-yk	240.000	N/mm^2	erf / vorh	0.907	< 1.0
	k-v	0.35		RedFaktor	0.555				

KAPPA1 - BIEGEKNICKNACHWEIS

BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	1-3
Zu bemessende Stabzüge:	1
Zu bemessende LF-Gruppen:	LG2 Pfette 1. Hallenschiff LG3 Pfette 2. Hallenschiff
Teilsicherheitsbeiwert Gamma-M:	1.10
Bemessungsmethode nach DIN 18800:	Nachweismethode 1 nach El. (321)
Nachweisverfahren:	Elastisch-Plastisch nach DIN 18800
Überprüfung von grenz (b/t)	☒

MATERIALDATEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [N/mm^2]	Schubmodul G [N/mm^2]	Querdehnzahl Nue [-]	Streckgrenze f-yk [N/mm^2]	Max-Bauteildicke t [mm]
1	Stahl S 235	210000.000	81000.000	0.300	240.000 215.000	40.000 100.000

IPE 200

QUERSCHNITTE

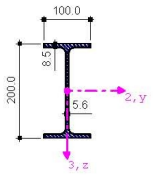
Quer.-Nr	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung
1	1	IPE 200

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Pfette IPE200	Seite: 9

KAPPA-DATEN

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
1	Querschnitt	IPE 200
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☐
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-3	1.000
	Knicklänge s-K,3	3.000 m
	Knicklast N-Ki,3	327.01 kN
	Schlankheit Lambda-K,3 quer	1.446
	Knickspannunglinie Ksl-3	b
	Imperfektionsfaktor Alpha-3	0.340
	Abminderungsfaktor Kappa-3	0.363
2	Querschnitt	IPE 200
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☐
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-3	1.000
	Knicklänge s-K,3	3.000 m
	Knicklast N-Ki,3	327.01 kN
	Schlankheit Lambda-K,3 quer	1.446
	Knickspannunglinie Ksl-3	b
	Imperfektionsfaktor Alpha-3	0.340
	Abminderungsfaktor Kappa-3	0.363
3	Querschnitt	IPE 200
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	6.000 m
	Knicklast N-Ki,2	1116.91 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	0.783
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.806
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-3	1.000
	Knicklänge s-K,3	6.000 m
	Knicklast N-Ki,3	81.75 kN
	Schlankheit Lambda-K,3 quer	2.893
	Knickspannunglinie Ksl-3	b
	Imperfektionsfaktor Alpha-3	0.340
	Abminderungsfaktor Kappa-3	0.106
SZ1	Stabzug	Pfette im Verbandsfeld
	Querschnitt	IPE 200
	Knicken senkrecht zur Achse 2-2	☒
	Knicklängenbeiwert Beta-2	1.000
	Knicklänge s-K,2	6.000 m
	Knicklast N-Ki,2	1116.91 kN
	Schlankheit Lambda-K,2 quer	0.783
	Knickspannunglinie Ksl-2	a
	Imperfektionsfaktor Alpha-2	0.210
	Abminderungsfaktor Kappa-2	0.806
	Knicken senkrecht zur Achse 3-3	☐

NACHWEIS QUERSCHNITTSWEISE



Stab-Nr.	x [mm]	LF LG	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart
Querschnitt 1 - IPE 200				
1	0.000	LG2	**0.748**	2) Nachweis nach (3) und (24) erbracht

Querschnittsmaße IPE 200								
b	100.0	mm		s	5.6	mm		
t	8.5	mm		h	200.0	mm		
Querschnittswerte IPE 200								
A	28.50	cm^2		I-2	1940.00	cm^4		
Delta-A,St	0.36	> 0.18		Ksl-2	a			
Schnittgrößen								
N	-61.99	kN		M-2,Anf	0.00	kNm	x-M2,max	2.400 m
V-3	18.86	kN		M-2,End	-27.89	kNm		
M-2	0.00	kNm		M-2,max	22.84	kNm		
Plastische Grenzschnittgrößen								
N-pl,k	684.00	kN		V-pl,3,d	135.09	kN	M-pl,2,d	48.00 kNm
N-pl,d	621.82	kN		Delta-V3	0.140	<= 0.33		
V-pl,3,k	148.60	kN		M-pl,2,k	52.80	kNm		
Abminderungsfaktor Kappa								
s-K,2	6.000	m		Lambda-K,2	0.783		Alpha-2	0.21
N-Ki,2	1116.91	kN		Ksl-2	a		Kappa-2	0.806
Beiwert Beta-m,2								
Q-Last 3	Ja			u	Nein		Beta-m,2	1.000
Nachweis								
D-N,2	0.124	> 0.1		Delta-n	0.043	<= 0.1		
D-M,2	0.581			D-NM	0.748	< 1.0		
Überprüfung von grenz (b/t) - massgebend Feld Nr. 5								
Typ	Beidseitig			t	5.6	mm	grenz (b/t)	56.099
b	159.0	mm		Alpha	0.660		vorh (b/t)	28.393 < 56.099

6.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Die Grenzwerte der Durchbiegung des Rahmenriegels werden nach DIN 18807-3 Kap. 3.3.4.2 festgelegt.

Grenzwert:

zul u_z = l/300 = 6000/300 = 20,0 mm (Dächer mit oberseitiger Abdichtung)

vorhandene Durchbiegung:

vorh $u_{z,max}$ = 16,27 mm (Globale Stabverschiebung;Stab-Nr. 6; LG 72)

Nachweis:

vorh $u_{z,max}$ / zul u_z = 16,27/ 20 = 0,81 < 1

7 Trapezprofil

7.1 Lastfälle

Eigengewicht

Σ Dachaufbau 0,388 kN/m je m

Schneelast

1. Hallenschiff: 0,68 kN/m je m

2. Hallenschiff: Trapezlast: s_1 = 0,68 kN/m je m

s_4 = 3,4 kN/m je m mit l_s = 6 m

Windlasten

1. Hallenschiff:	Winddruck θ = 90° Bereich I	+0,16 kN/m je m
	Windsog θ = 90° Bereich F/G	-1,28 / -1,04 kN/m je m
		mit e/4 = 4,75 m
	positiver Innendruck	+0,16 kN/m je m
	negativer Innendruck	-0,24 kN/m je m
2. Hallenschiff:	Winddruck θ = 90° Bereich I	+0,13 kN/m je m
	Windsog θ = 90° Bereich F/G	-1,04 / -0,85 kN/m je m
		mit e/4 = 3,92 m
	positiver Innendruck	+0,16 kN/m je m
	negativer Innendruck	-0,24 kN/m je m

7.2 Ausdruckprotokolle RSTAB 5.14

7.2.1 Trapezblech 1. Hallenschiff

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 1. Hallenschiff	Seite: 1

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

- ☒ Statik
- ☐ Nachweis
- ☐ Dynamik
- ☒ Theorie I. Ordnung
- ☒ Theorie II. Ordnung
- ☐ Seiltheorie
- ☒ Lastfälle
- ☒ LF-Gruppen
- ☐ LF-Kombinationen
- ☐ Bemessungsfälle
- ☐ Dynamikfälle
- ☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

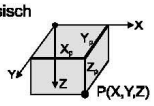
- ☐ 1D-Durchlaufträger
- ☒ 2D-Stabwerk
- ☐ 3D-Stabwerk
- ☐ Trägerrost

4 Knoten
1 Materialien
1 Querschnitte
0 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

3 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
1 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000		0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	3.180		0.000
3	Kartesisch Gelagert	-	6.360		0.000
4	Kartesisch Gelagert	-	9.540		0.000

MATERIALIEN

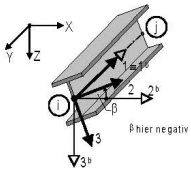
Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

HSW E50 - 1,25 Positivlage (b: 1000.0 mm)

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_2 [cm⁴]	A [cm²]	A_3 [cm²]
1	1	HSW E 50 - 1,25 Positivlage (b: 1000.0 mm)	59.80	15.100	

Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	2	0.00	1	1	-	-	-	3.180	HORI
2	Balken	2	3	0.00	1	1	-	-	-	3.180	HORI
3	Balken	3	4	0.00	1	1	-	-	-	3.180	HORI

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 1. Hallenschiff	Seite: 2

AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1	0.0	0.0	Ja		Ja		Nein	
2	2-4	0.0	0.0	Nein		Ja		Nein	

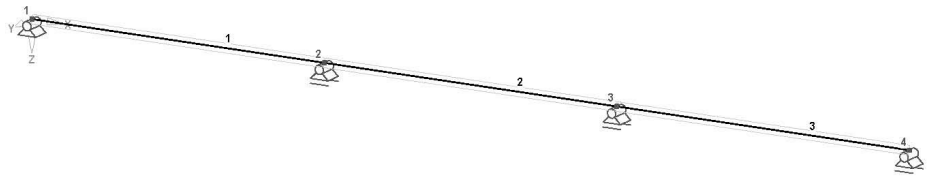
STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1	1	1-3

STRUKTUR

Knotennummerierung
Stabnummerierung

Isometrie

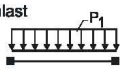


BELASTUNG

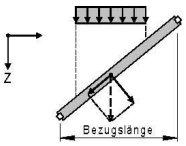
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Schnee	1.00	Veränderlich	-
3	Winddruck	1.00	Veränderlich	-
4	Windsog	1.00	Veränderlich	-
5	negativer Innendruck	1.00	Veränderlich	-
6	positiver Innendruck	1.00	Veränderlich	-

1- Linienlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	Z	0.300			

STABLASTEN LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	Z	0.680			

STABLASTEN LF 3

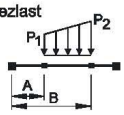
Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	Z	0.160			

STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1	4	Z	-1.280	-1.280	0.000	3.180
2	2	4	Z	-1.280	-1.280	0.000	1.570
3	2	4	Z	-1.040	-1.040	1.570	3.180

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Trapezblech 1. Hallenschiff	Seite: 3

4 - Trapezlast



STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
4	3	4	Z	-1.040	-1.040	0.000	3.180

STABLASTEN LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	Z	0.240			

STABLASTEN LF 6

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-3	1	Z	-0.160			

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	1.35 Eigen.+1.5 (Schnee+(Winddruck+neg. Innendr.)/2)	1.00	1.10	1.35*LF1 + 1.50*LF2 + 0.75*LF3 + 0.75*LF5
2	1.35 Eigen.+1.5*0.9 (Schnee+Winddruck+neg. Innnendr.)	1.00	1.10	1.50*LF1 + 1.35*LF2 + 1.35*LF3 + 1.35*LF5
3	1.35*0.9 Eigen.+1.5 (Windsog+pos. Inndruck)	1.00	1.10	1.215*LF1 + 1.50*LF4 + 1.50*LF6
4	Gebrauchstauglichkeit	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF3 + LF5

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG1	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein
LG2	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
1	LG1	Max N	.00	.00	.00	2.40	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	2.40	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	2.40	.00	.00	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-3.60	.00	-1.91	.00
		Max M-2	1.27	.00	.00	.00	.00	1.52	.00
		Min M-2	3.18	.00	.00	-3.60	.00	-1.91	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	2.65	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	2.65	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	2.65	.00	.00	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-3.98	.00	-2.11	.00
		Max M-2	1.27	.00	.00	.00	.00	1.69	.00
		Min M-2	3.18	.00	.00	-3.98	.00	-2.11	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-2.10	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	-2.10	.00	.00	.00
		Max Q-3	3.18	.00	.00	3.15	.00	1.66	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-2.10	.00	.00	.00
		Max M-2	3.18	.00	.00	3.15	.00	1.66	.00
		Min M-2	1.27	.00	.00	.00	.00	-1.34	.00
2	LG1	Max N	.00	.00	.00	3.00	.00	-1.91	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.00	.00	-1.91	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.00	.00	-1.91	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-3.00	.00	-1.91	.00
		Max M-2	1.59	.00	.00	.00	.00	.48	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	3.00	.00	-1.91	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	3.32	.00	-2.11	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.32	.00	-2.11	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.32	.00	-2.11	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-3.32	.00	-2.11	.00
		Max M-2	1.59	.00	.00	.00	.00	.53	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	3.32	.00	-2.11	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-2.59	.00	1.66	.00
		Min N	.00	.00	.00	-2.59	.00	1.66	.00
		Max Q-3	3.18	.00	.00	2.09	.00	1.32	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-2.59	.00	1.66	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-2.59	.00	1.66	.00
		Min M-2	1.59	.00	.00	.03	.00	-.37	.00
3	LG1	Max N	.00	.00	.00	3.60	.00	-1.91	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.60	.00	-1.91	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.60	.00	-1.91	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-2.40	.00	.00	.00
		Max M-2	1.91	.00	.00	.00	.00	1.52	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	3.60	.00	-1.91	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	3.98	.00	-2.11	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.98	.00	-2.11	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 1. Hallenschiff	Seite: 4

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
3	LG2	Max Q-3	.00	.00	.00	3.98	.00	-2.11	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-2.65	.00	.00	.00
		Max M-2	1.91	.00	.00	.00	.00	1.69	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	3.98	.00	-2.11	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-2.47	.00	1.32	.00
		Min N	.00	.00	.00	-2.47	.00	1.32	.00
		Max Q-3	3.18	.00	.00	1.64	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-2.47	.00	1.32	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-2.47	.00	1.32	.00
		Min M-2	1.91	.00	.00	.00	.00	-1.04	.00

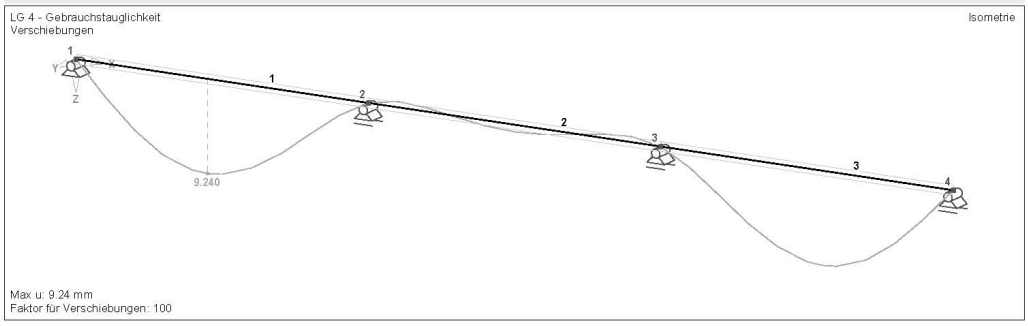
AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
1	LG1	.000	.000	2.398	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	2.653	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-2.105	.000	.000	.000
2	LG1	.000	.000	6.594	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	7.296	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-5.733	.000	.000	.000
3	LG1	.000	.000	6.594	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	7.296	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-4.553	.000	.000	.000
4	LG1	.000	.000	2.398	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	2.653	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-1.640	.000	.000	.000
ΣKräfte	LG1	.000	.000	17.983			
ΣLasten		.000	.000	17.983			
ΣKräfte	LG2	.000	.000	19.899			
ΣLasten		.000	.000	19.899			
ΣKräfte	LG3	.000	.000	-14.031			
ΣLasten		.000	.000	-14.031			

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z
1	LG4	Max u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Max u-Z	1.43	.00000	.00000	9.23981
		Min u-Z	.00	.00000	.00000	.00000
2	LG4	Max u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Max u-Z	1.59	.00000	.00000	.69911
		Min u-Z	.32	.00000	.00000	-.55370
3	LG4	Max u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Max u-Z	1.75	.00000	.00000	9.23981
		Min u-Z	.00	.00000	.00000	.00000

ERGEBNISSE



7.2.2 Trapezblech 2. Hallenschiff

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 2. Hallenschiff	Seite: 1 12.04.2011

INHALT

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

☒ Statik
☐ Nachweis
☐ Dynamik

☒ Theorie I. Ordnung
☒ Theorie II. Ordnung
☐ Seiltheorie

☒ Lastfälle
☒ LF-Gruppen
☐ LF-Kombinationen

☐ Bemessungsfälle
☐ Dynamikfälle
☐ Knickfiguren

STRUKTURKENNWERTE

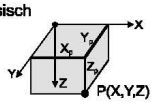
☐ 1D-Durchlaufträger
☒ 2D-Stabwerk
☐ 3D-Stabwerk
☐ Trägerrost

5 Knoten
1 Materialien
1 Querschnitte
0 Stabendgelenke
0 Stabteilungen

4 Stäbe
0 Seilstäbe
0 Voutenstäbe
0 El. gebet. Stäbe
1 Stabzüge

STRUKTUR

Kartesisch



KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch Gelagert	-	0.000		0.000
2	Kartesisch Gelagert	-	1.590		0.000
3	Kartesisch Gelagert	-	3.180		0.000
4	Kartesisch Gelagert	-	6.360		0.000
5	Kartesisch Gelagert	-	9.540		0.000

MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm²]	Schubmodul [kN/cm²]	Sp. Gewicht [kN/cm³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

HSW E 50 - 1,25 Positivlage (b: 1000.0 mm)

QUERSCHNITTE

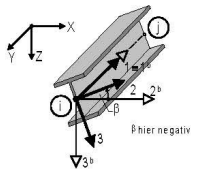
Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_2 [cm⁴]	A [cm²]	A_3 [cm²]
1	1	HSW E 50 - 1,25 Positivlage (b: 1000.0 mm)	59.80	15.100	

STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Ende	Gelenk Anf.	Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1	2	0.00	1	1	-	-	-	1.590	HORI
2	Balken	2	3	0.00	1	1	-	-	-	1.590	HORI
3	Balken	3	4	0.00	1	1	-	-	-	3.180	HORI
4	Balken	4	5	0.00	1	1	-	-	-	3.180	HORI

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 2. Hallenschiff	Seite: 2 12.04.2011

Lokales Stabachsensystem



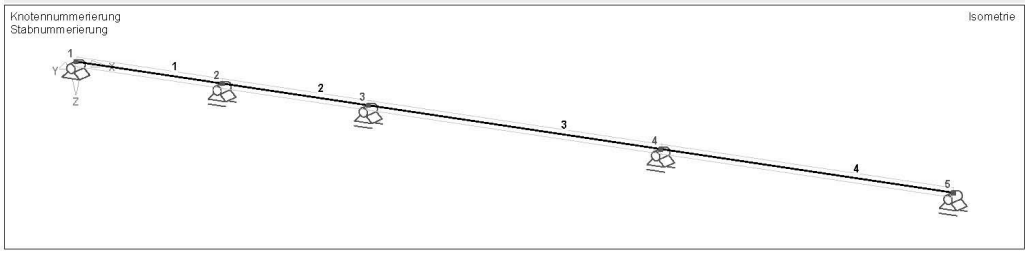
AUFLAGER

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha	Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1	0.0	0.0	Ja		Ja		Nein	
2	2-5	0.0	0.0	Nein		Ja		Nein	

STABZÜGE

Zug-Nr.	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1	1	1-4

STRUKTUR

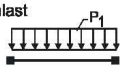


BELASTUNG

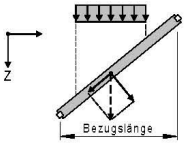
BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Schnee	1.00	Veränderlich	-
3	Winddruck	1.00	Veränderlich	-
4	Windsog	1.00	Veränderlich	-
5	negativer Innendruck	1.00	Veränderlich	-
6	positiver Innendruck	1.00	Veränderlich	-

1- Linienlast



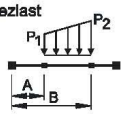
Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	0.300			

4 - Trapezlast



STABLASTEN LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1	4	Z	3.400	2.6792	0.000	1.590
2	2	4	Z	2.6792	1.9584	0.000	1.590
3	3	4	Z	1.9584	0.680	0.000	2.820
4	3	4	Z	0.680	0.680	2.820	3.180
5	4	4	Z	0.680	0.680	0.000	3.180

Projekt: Bachelorarbeit	Position: Trapezblech 2. Hallenschiff	Seite: 3 12.04.2011

STABLASTEN LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	0.130			

STABLASTEN LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1	P_2	A	B
1	1	4	Z	-1.040	-1.040	0.000	1.590
2	2	4	Z	-1.040	-1.040	0.000	1.590
3	3	4	Z	-1.040	-1.040	0.000	0.740
4	3	4	Z	-0.850	-0.850	0.740	3.180
5	4	4	Z	-0.850	-0.850	0.000	3.180

STABLASTEN LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	0.240			

STABLASTEN LF 6

Nr.	Belastete Stäbe	Last-art	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m] P_1			
1	1-4	1	Z	-0.160			

LF-GRUPPEN

LG-Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Beiwert γ_M	Lastfälle in LG
1	1.35 Eigen.+1.5 (Schnee+(Winddruck+neg. Innendr.)/2)	1.00	1.10	1.35°LF1 + 1.50°LF2 + 0.75°LF3 + 0.75°LF5
2	1.35 Eigen.+1.5°0.9 (Schnee+Winddruck+neg. Innnendr.)	1.00	1.10	1.50°LF1 + 1.35°LF2 + 1.35°LF3 + 1.35°LF5
3	1.35°0.9 Eigen.+1.5 (Windsog+pos. Inndruck)	1.00	1.10	1.215°LF1 + 1.50°LF4 + 1.50°LF6
4	Gebrauchstauglichkeit	1.00	1.10	LF1 + LF2 + LF3 + LF5

DATEN ZUR THEORIE II. ORDNUNG

LG-Nr.	Faktor Ny	Anzahl Iterationen	Eps-Konvergenz vorhanden	Eps-Konvergenz gewollt	Ny-fache Ergebnisse	Entlastung durch Zugkräfte
LG1	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein
LG2	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein
LG3	1.000	1	.00E+00	0.01	Ja	Nein

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
1	LG1	Max N	.00	.00	.00	3.76	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.76	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.76	.00	.00	.00
		Min Q-3	1.59	.00	.00	-4.83	.00	-1.08	.00
		Max M-2	.64	.00	.00	.11	.00	1.22	.00
		Min M-2	1.59	.00	.00	-4.83	.00	-1.08	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	3.63	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.63	.00	.00	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.63	.00	.00	.00
		Min Q-3	1.59	.00	.00	-4.68	.00	-1.04	.00
		Max M-2	.64	.00	.00	.12	.00	1.18	.00
		Min M-2	1.59	.00	.00	-4.68	.00	-1.04	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-.86	.00	.00	.00
		Min N	.00	.00	.00	-.86	.00	.00	.00
		Max Q-3	1.59	.00	.00	1.19	.00	.26	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-.86	.00	.00	.00
		Max M-2	1.59	.00	.00	1.19	.00	.26	.00
		Min M-2	.64	.00	.00	-.04	.00	-.29	.00
2	LG1	Max N	.00	.00	.00	3.12	.00	-1.08	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.12	.00	-1.08	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.12	.00	-1.08	.00
		Min Q-3	1.59	.00	.00	-3.75	.00	-1.81	.00
		Max M-2	.64	.00	.00	.17	.00	-.05	.00
		Min M-2	1.59	.00	.00	-3.75	.00	-1.81	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	3.02	.00	-1.04	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.02	.00	-1.04	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.02	.00	-1.04	.00
		Min Q-3	1.59	.00	.00	-3.75	.00	-1.83	.00
		Max M-2	.64	.00	.00	.12	.00	-.06	.00
		Min M-2	1.59	.00	.00	-3.75	.00	-1.83	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-.81	.00	.26	.00
		Min N	.00	.00	.00	-.81	.00	.26	.00

Projekt: Bachelorarbeit	**Position:** Trapezblech 2. Hallenschiff	Seite: 4 12.04.2011

SCHNITTGRÖSSEN STABBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Kräfte [kN] N	Q_2	Q_3	Momente [kNm] T	M_2	M_3
2	LG3	Max Q-3	1.59	.00	.00	1.24	.00	.60	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-.81	.00	.26	.00
		Max M-2	1.59	.00	.00	1.24	.00	.60	.00
		Min M-2	.64	.00	.00	.01	.00	.00	.00
3	LG1	Max N	.00	.00	.00	4.69	.00	-1.81	.00
		Min N	.00	.00	.00	4.69	.00	-1.81	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	4.69	.00	-1.81	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-3.94	.00	-2.39	.00
		Max M-2	1.43	.00	.00	-.03	.00	1.35	.00
		Min M-2	3.18	.00	.00	-3.94	.00	-2.39	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	4.74	.00	-1.83	.00
		Min N	.00	.00	.00	4.74	.00	-1.83	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	4.74	.00	-1.83	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-4.20	.00	-2.56	.00
		Max M-2	1.43	.00	.00	-.03	.00	1.38	.00
		Min M-2	3.18	.00	.00	-4.20	.00	-2.56	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-1.62	.00	.60	.00
		Min N	.00	.00	.00	-1.62	.00	.60	.00
		Max Q-3	3.18	.00	.00	1.79	.00	1.14	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-1.62	.00	.60	.00
		Max M-2	3.18	.00	.00	1.79	.00	1.14	.00
		Min M-2	1.43	.00	.00	.03	.00	-.46	.00
4	LG1	Max N	.00	.00	.00	3.71	.00	-2.39	.00
		Min N	.00	.00	.00	3.71	.00	-2.39	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	3.71	.00	-2.39	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-2.21	.00	.00	.00
		Max M-2	2.07	.00	.00	-.14	.00	1.31	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	3.71	.00	-2.39	.00
	LG2	Max N	.00	.00	.00	4.06	.00	-2.56	.00
		Min N	.00	.00	.00	4.06	.00	-2.56	.00
		Max Q-3	.00	.00	.00	4.06	.00	-2.56	.00
		Min Q-3	3.18	.00	.00	-2.45	.00	.00	.00
		Max M-2	1.91	.00	.00	.16	.00	1.46	.00
		Min M-2	.00	.00	.00	4.06	.00	-2.56	.00
	LG3	Max N	.00	.00	.00	-1.96	.00	1.14	.00
		Min N	.00	.00	.00	-1.96	.00	1.14	.00
		Max Q-3	3.18	.00	.00	1.24	.00	.00	.00
		Min Q-3	.00	.00	.00	-1.96	.00	1.14	.00
		Max M-2	.00	.00	.00	-1.96	.00	1.14	.00
		Min M-2	1.91	.00	.00	-.04	.00	-.77	.00

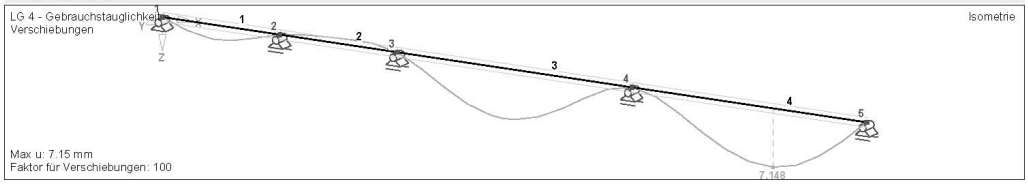
AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN] P_X	P_Y	P_Z	Auflagermomente [kNm] M_X	M_Y	M_Z
1	LG1	.000	.000	3.757	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	3.632	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-.865	.000	.000	.000
2	LG1	.000	.000	7.952	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	7.702	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-1.999	.000	.000	.000
3	LG1	.000	.000	8.435	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	8.488	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-2.860	.000	.000	.000
4	LG1	.000	.000	7.653	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	8.261	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-3.753	.000	.000	.000
5	LG1	.000	.000	2.211	.000	.000	.000
	LG2	.000	.000	2.446	.000	.000	.000
	LG3	.000	.000	-1.242	.000	.000	.000
ΣKräfte	LG1	.000	.000	30.008			
ΣLasten		.000	.000	30.008			
ΣKräfte	LG2	.000	.000	30.528			
ΣLasten		.000	.000	30.528			
ΣKräfte	LG3	.000	.000	-10.719			
ΣLasten		.000	.000	-10.719			

GLOBALE STABVERSCHIEBUNGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [m]	Stabverschiebungen [mm] u_X	u_Y	u_Z
4	LG4	Max u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Min u-X	.00	.00000	.00000	.00000
		Max u-Z	1.91	.00000	.00000	7.14830
		Min u-Z	.00	.00000	.00000	.00000

ERGEBNISSE



7.3 Nachweisführung

7.3.1 Querschnitts- und Widerstandsgrößen des Trapezbleches

Trapezblech: ThyssenKrupp Hoesch Baussysteme T 50.1 Positivlage t_N = 1,25 mm

Grenzstützweite l_{gr} = 4,5 m

Widerstandsgrößen für nach unten gerichtete und andrückende Flächenlast mit $b_{A+Ü}$ = 40 mm; b_B > 60 mm (vorh $b_{IPE\,200}$ = 100 mm) und ε = 1

$$M_{F,d}=\frac{M_{F,k}}{\gamma_M}=\frac{5{,}64}{1{,}1}=5{,}13\,\text{kNm} \qquad R_{A,G,d}=\frac{R_{A,G,k}}{\gamma_M}=\frac{26{,}4}{1{,}1}=24{,}00\,\text{kN}$$

$$\max M_{B,d}=\frac{\max M_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{6{,}33}{1{,}1}=5{,}75\,\text{kNm} \qquad \max R_{B,d}=\frac{\max R_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{29{,}9}{1{,}1}=27{,}18\,\text{kN}$$

$$M^0_{B,d}=\frac{M^0{}_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{7{,}19}{1{,}1}=6{,}54\,\text{kNm} \qquad R^0_{B,d}=\frac{R^0{}_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{93{,}47}{1{,}1}=84{,}97\,\text{kN}$$

$$N_{Z,d}=\frac{A_g*f_{y,k}}{\gamma_M}=\frac{15{,}1*32}{1{,}1}=439{,}3\,\text{kN}$$

Widerstandsgrößen für nach oben gerichtete und abhebende Flächenlast mit Befestigung in jedem 2. Gurt und ε = 1

$$M_{F,d}=\frac{M_{F,k}}{\gamma_M}=\frac{6{,}47}{1{,}1}=5{,}88\,\text{kNm} \qquad R_{A,d}=\frac{R_{A,k}}{\gamma_M}=\frac{17{,}3}{1{,}1}=15{,}73\,\text{kN}$$

$$\max M_{B,d}=\frac{\max M_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{2{,}65}{1{,}1}=2{,}41\,\text{kNm} \qquad \max R_{B,d}=\frac{\max R_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{13{,}6}{1{,}1}=12{,}36\,\text{kN}$$

$$M^0_{B,d}=\frac{M^0{}_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{2{,}92}{1{,}1}=2{,}65\,\text{kNm} \qquad R^0_{B,d}=\frac{R^0{}_{B,k}}{\gamma_M}=\frac{62{,}78}{1{,}1}=57{,}07\,\text{kN}$$

7.3.2 Nachweis des Trapezbleches – 1. Hallenschiff

Schnittgrößen LG 2 (nach unten gerichtete und andrückende Flächenlast)

$$M_{F,S,d}=1{,}69\,\text{kNm} \qquad R_{A,S,d}=2{,}653\,\text{kN}$$

$$M_{B,S,d}=-2{,}11\,\text{kNm} \qquad R_{B,S,d}=7{,}296\,\text{kN}$$

$$\Sigma R_d=2*(2{,}653+7{,}296)=19{,}90\,\text{kN}$$

$$\rightarrow \text{Dachschub infolge Dachneigung } \alpha=5° \quad N_{Z,S,d}=\sin\alpha*\Sigma R_d=\sin 5°*19{,}90=1{,}73\,\text{kN}$$

Nachweis

$$\frac{M_{F,S,d}}{M_{F,d}}=\frac{1{,}69}{5{,}13}=0{,}33<1 \qquad \frac{R_{A,S,d}}{R_{A,G,d}}=\frac{2{,}653}{24{,}00}=0{,}11<1$$

$$\frac{M_{B,S,d}}{\max M_{B,d}}=\frac{2,11}{5,75}=0,37<1 \qquad \frac{R_{B,S,d}}{\max R_{B,d}}=\frac{7,296}{27,18}=0,27<1$$

$$\frac{N_{Z,S,d}}{N_{Z,d}}=\frac{1,73}{439,3}=0,004\ll 1 \quad \rightarrow \quad \text{vernachlässigbar}$$

Interaktion

$$\frac{M_{B,S,d}}{M^0_{B,d}}+\left(\frac{R_{B,S,d}}{R^0_{B,d}}\right)^{\varepsilon}=\frac{2,11}{5,75}+\left(\frac{7,296}{84,97}\right)^{1}=0,41<1$$

Schnittgrößen LG 3 (nach oben gerichtete und abhebende Flächenlast)

$$M_{F,S,d}=-1,340\,\text{kNm} \qquad R_{A,S,d}=-2,105\,\text{kN}$$

$$M_{B,S,d}=-1,660\,\text{kNm} \qquad R_{B,S,d}=-5,733\,\text{kN}$$

Nachweis

$$\frac{M_{F,S,d}}{M_{F,d}}=\frac{1,340}{5,88}=0,23<1 \qquad \frac{R_{A,S,d}}{R_{A,G,d}}=\frac{2,105}{15,73}=0,13<1$$

$$\frac{M_{B,S,d}}{\max M_{B,d}}=\frac{1,66}{2,41}=0,69<1 \qquad \frac{R_{B,S,d}}{\max R_{B,d}}=\frac{5,733}{12,36}=0,46<1$$

Interaktion

$$\frac{M_{B,S,d}}{M^0_{B,d}}+\left(\frac{R_{B,S,d}}{R^0_{B,d}}\right)^{\varepsilon}=\frac{1,66}{2,65}+\left(\frac{5,733}{57,07}\right)^{1}=0,73<1$$

Begehbarkeit: vorh l = 3,18 m < l_{gr} = 4,50 m

Gebrauchstauglichkeit: vorh u_z = 9,24 mm < zul u_z = vorh l/300 = 10,6 mm

7.3.3 Nachweis des Trapezbleches – 2. Hallenschiff

Schnittgrößen LG 2 (nach unten gerichtete und andrückende Flächenlast)

$$M_{F,S,d}=1,46\,\text{kNm} \qquad R_{A,S,d}=3,632\,\text{kN}$$

$$M_{B,S,d,1}=-2,56\,\text{kNm} \qquad R_{B,S,d,1}=8,261\,\text{kN}$$

$$M_{B,S,d,2}=-1,83\,\text{kNm} \qquad R_{B,S,d,2}=8,488\,\text{kN}$$

$$\Sigma R_d=3,632+7,702+8,488+8,261+2,446=30,53\,\text{kN}$$

$$\rightarrow \text{Dachschub infolge Dachneigung } \alpha=5° \quad N_{Z,S,d}=\sin\alpha*\Sigma R_d=\sin 5°*30,53=2,66\,\text{kN}$$

Nachweis

$$\frac{M_{F,S,d}}{M_{F,d}}=\frac{1,46}{5,13}=0,28<1 \qquad \frac{R_{A,S,d}}{R_{A,G,d}}=\frac{3,632}{24,00}=0,15<1$$

$$\frac{M_{B,S,d,1}}{\max M_{B,d}}=\frac{2,56}{5,75}=0,45<1 \qquad \frac{R_{B,S,d,1}}{\max R_{B,d}}=\frac{8,26}{27,18}=0,30<1$$

$$\frac{M_{B,S,d,2}}{\max M_{B,d}}=\frac{1,83}{5,75}=0,32<1 \qquad \frac{R_{B,S,d,1}}{\max R_{B,d}}=\frac{8,488}{27,18}=0,31<1$$

$$\frac{N_{Z,S,d}}{N_{Z,d}}=\frac{2,66}{439,3}=0,006\ll 1 \;\rightarrow\; \text{vernachlässigbar}$$

Interaktion

$$\frac{M_{B,S,d,1}}{M^0_{B,d}}+\left(\frac{R_{B,S,d,1}}{R^0_{B,d}}\right)^{\varepsilon}=\frac{2,56}{5,75}+\left(\frac{8,26}{84,97}\right)^{1}=0,49<1$$

Schnittgrößen LG 3 (nach oben gerichtete und abhebende Flächenlast)

$M_{F,S,d}=-0,77\,\text{kNm}$ $\qquad R_{A,S,d}=-1,242\,\text{kN}$

$M_{B,S,d}=-1,14\,\text{kN}$ $\qquad R_{B,S,d}=-3,753\,\text{kN}$

Schnittgrößen kleiner als beim Trapezblechnachweis des 1. Hallenschiffs → Nachweis offensichtlich erfüllt!

Begehbarkeit: vorh l = 3,18 m < l_{gr} = 4,50 m

Gebrauchstauglichkeit: vorh u_z = 7,15 mm < zul u_z = vorh l/300 = 10,6 mm

8 Auszug aus dem Prüfbescheid II B2-543-921 (Hoesch Trapezprofil)

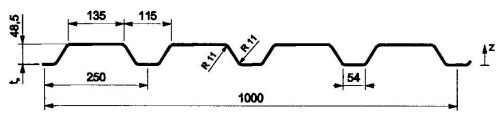
T 50.1 Positivlage

ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme

Stahltrapezprofil Typ **T 50.1**

Querschnitts- und Widerstandsgrößen nach DIN 18807 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau.

Profiltafel in Maße in [mm] **Positivlage**



Anlage 4.1

Als Typenentwurf
in bautechnischer Hinsicht geprüft

Prüfbescheid-Nr. II B2-543-921
Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport
- Prüfamt für Baustatik -
Düsseldorf, den 21.04.2004

Im Auftrag: Der Bearbeiter:

Streckgrenze des Stahlkerns $f_{y,k}$ = 320 N/mm²

Maßgebende Querschnittswerte

Nennblechdicke	Eigenlast	Biegung [1]		Normalkraftbeanspruchung						Grenzstützweiten [3]	
				nicht reduzierter Querschnitt			mitwirkender Querschnitt [2]			L_{gr} [m]	
t_N [mm]	g [kN/m2]	I^+_{ef} [cm⁴/m]	I^-_{ef} [cm⁴/m]	A_g [cm²/m]	i_g [cm]	z_g [cm]	A_{ef} [cm²/m]	i_{ef} [cm]	z_{ef} [cm]	Einfeldträger	Mehrfeldträger
0,63	0,0630	29,2	29,2	7,38	2,02	3,10	2,45	2,19	2,42	–	–
0,75	0,0750	35,1	35,1	8,88	2,02	3,10	3,47	2,15	2,43	1,77	2,21
0,88	0,0880	41,5	41,5	10,5	2,02	3,10	4,74	2,12	2,45	2,50	3,13
1,00	0,100	47,5	47,5	12,0	2,02	3,10	6,05	2,09	2,46	2,86	3,57
1,25	0,125	59,8	59,8	15,1	2,02	3,10	9,14	2,05	2,48	3,60	4,50
1,50	0,150	72,2	72,2	18,3	2,02	3,10	12,6	2,02	2,51	4,35	5,43

Schubfeldwerte

t_N [mm]	$minL_s$ [4] [m]	$zulT_1$ [kN/m]	$zulT_2$ [kN/m]	$zulT_3 = G_s/750$ [kN/m] L_G [5] [m]	$G_s = 10^4/(K_1+K_2/L_s)$ K_1 [m/kN]	K_2 [m²/kN]	K_3 [6] [-]	zul F_t [7] Einleitungslänge a ≥ 130 mm [kN]	≥ 280 mm [kN]
Ausführung nach DIN 18807 Teil 3, Bild 6									
0,63	2,6	1,61	1,86	2,6	0,255	19,0	0,20	5,40	8,30
0,75	2,4	2,13	2,96	2,4	0,212	12,0	0,22	6,50	10,0
0,88	2,2	2,74	4,50	2,2	0,179	7,86	0,24	7,70	11,8
1,00	2,0	3,35	6,29	2,0	0,157	5,63	0,26	8,80	13,5
1,25	1,8	4,73	11,2	1,8	0,125	3,16	0,29	11,1	17,0
1,50	1,7	6,27	17,9	1,7	0,103	1,97	0,32	13,4	20,6
Ausführung nach DIN 18807 Teil 3, Bild 7									
0,63	2,7	3,21	1,76	2,7	0,255	15,1	0,32	5,40	8,30
0,75	2,5	4,24	2,79	2,5	0,212	9,50	0,32	6,50	10,0
0,88	2,3	5,46	4,24	2,3	0,179	6,24	0,32	7,70	11,8
1,00	2,1	6,67	5,92	2,1	0,157	4,47	0,32	8,80	13,5
1,25	1,9	9,44	10,6	1,9	0,125	2,51	0,32	11,1	17,0
1,50	1,7	12,5	16,9	1,7	0,103	1,57	0,32	13,4	20,6

1) Effektive Trägheitsmomente für Lastrichtung nach unten (+) bzw. oben (-).
2) Mitwirkender Querschnitt für eine konstante Druckspannung $\sigma = f_{y,k}$.
3) Maximale Stützweiten, bis zu denen das Trapezprofil als tragendes Bauteil von Dach- und Deckensystemen verwendet werden darf. Diese Anforderung gilt nicht, wenn die Trapezprofile mit lastverteilenden Maßnahmen (z.B. Holzbohlen) begangen werden.
4) Bei Schubfeldlängen $L_s < minL_s$ müssen die zulässigen Schubflüsse reduziert werden.
5) Bei Schubfeldlängen $L_s > L_G$ ist $zulT_3$ nicht maßgebend.
6) Auflager-Kontaktkräfte $R_s = K_3 \cdot \gamma \cdot T$; (T = vorhandener Schubfluß in [kN/m])
7) Einzellast gemäß DIN 18807 Teil 3, Abschnitt 3.6.1.5

T 50.1 Positivlage

ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme

Stahltrapezprofil Typ **T 50.1**

Querschnitts- und Widerstandsgrößen nach DIN 18807 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau.

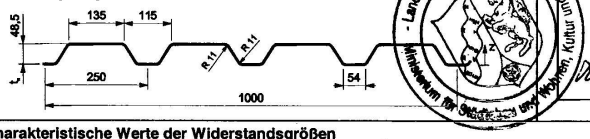
Anlage 4.2

Als Typenentwurf
in bautechnischer Hinsicht geprüft

Prüfbescheid-Nr. II B2-543-921
Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport
- Prüfamt für Baustatik -
Düsseldorf, den 21.04.2004

Im Auftrag: Der Bearbeiter:

Profiltafel in Maße in [mm] **Positivlage**



Charakteristische Werte der Widerstandsgrößen
bei nach unten gerichteter und andrückender Flächenlast [1]

Nennblechdicke	Feldmoment	Endauflagerkräfte		Zwischenauflager: Nachweisverfahren E-E				Zwischenauflager: Nachweisverfahren P-P		
				Interaktion Biegemoment/Auflagerkraft [5]				Reststützmomente [6]		
		Tragfähigkeit	Gebrauchstauglichkeit	$\frac{\gamma_F \cdot M_{B,S,k}}{M^0_{B,k}/\gamma_M} + \left(\frac{\gamma_F \cdot R_{B,S,k}}{R^0_{B,k}/\gamma_M}\right)^{\varepsilon} \le 1$			Zwischenauflagerkraft	$M_{R,k} = 0$ für $L \le \min \ell$ $M_{R,k} = \frac{L - \min \ell}{\max \ell - \min \ell} \cdot \max M_{R,k}$ $M_{R,k} = \max M_{R,k}$ für $L \ge \max \ell$		
t_N [mm]	$M_{F,k}$ [kNm/m]	$R_{A,T,k}$ [kN/m]	$R_{A,G,k}$ [kN/m]	$M^0_{B,k}$ [kNm/m]	$R^0_{B,k}$ [kN/m]	$\max M_{B,k}$ [kNm/m]	$\max R_{B,k}$ [kN/m]	$\min \ell$ [m]	$\max \ell$ [m]	$\max M_{R,k}$ [kNm/m]
		[2] $b_A+ü$ = 40 mm		Zwischenauflagerbreite b_B = 0 mm, ε = 1						
0,63	1,80	9,59	7,33	1,64	11,30	1,28	5,19			
0,75	2,30	13,8	10,5	2,39	12,60	1,81	7,02			
0,88	3,07	18,2	13,9	3,33	15,78	2,45	9,11			
1,00	3,77	22,4	17,2	4,21	18,73	3,03	11,0			
1,25	5,64	34,5	26,4	6,55	36,09	4,96	19,1			
1,50	7,52	46,6	35,6	8,89	53,34	6,90	27,0			
		[2] $b_A+ü$ = 40 mm		[4] Zwischenauflagerbreite $b_B \ge$ 60 mm, ε = 1						
0,63	1,80	9,59	7,33	2,45	16,39	1,88	7,83			
0,75	2,30	13,8	10,5	3,24	20,64	2,42	9,96			
0,88	3,07	18,2	13,9	4,13	33,12	3,33	14,1			
1,00	3,77	22,4	17,2	4,94	44,51	4,19	18,0			
1,25	5,64	34,5	26,4	7,19	93,47	6,33	29,9			
1,50	7,52	46,6	35,6	9,42	142,2	8,46	41,7			

Charakteristische Werte der Widerstandsgrößen
bei nach oben gerichteter und abhebender Flächenlast [1]

Nennblechdicke	Feldmoment	Befestigung in jedem anliegenden Gurt					Befestigung in jedem 2. Gurt				
		Endauflager	[5] Zwischenauflager, ε = 1				Endauflager	[5] Zwischenauflager, ε = 1			
t_N [mm]	$M_{F,k}$ [kNm/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	$M^0_{B,k}$ [kNm/m]	$R^0_{B,k}$ [kN/m]	$\max M_{B,k}$ [kNm/m]	$\max R_{B,k}$ [kN/m]	$R_{A,k}$ [kN/m]	$M^0_{B,k}$ [kNm/m]	$R^0_{B,k}$ [kN/m]	$\max M_{B,k}$ [kNm/m]	$\max R_{B,k}$ [kN/m]
0,63	1,84	9,59	1,94	22,89	1,53	7,34	4,79	0,969	11,43	0,765	3,67
0,75	2,48	13,8	2,67	23,10	2,16	9,55	6,88	1,33	11,50	1,08	4,78
0,88	3,57	18,2	3,40	41,14	2,94	13,3	9,10	1,70	20,57	1,48	6,68
1,00	4,58	22,4	4,08	57,94	3,64	16,8	11,2	2,04	28,97	1,82	8,42
1,25	6,47	34,5	5,85	125,8	5,30	27,2	17,3	2,92	62,78	2,65	13,6
1,50	8,34	46,6	7,60	193,0	6,97	37,6	23,3	3,81	96,77	3,48	18,9

[1] An den Stellen von Linienlasten quer zur Spannrichtung und von Einzellasten ist der Nachweis nicht mit dem Feldmoment $M_{F,k}$, sondern mit dem Stützmoment $M_{B,k}$ für die entgegengesetzte Lastrichtung zu führen.
[2] $b_A+ü$ = Endauflagerbreite einschließlich Profiltafelüberstand.
[3] Für kleinere Auflagerbreiten müssen die charakteristischen Werte der Widerstandsgrößen linear im entsprechenden Verhältnis reduziert werden. Dabei darf für Auflagerbreiten kleiner als 10 mm, z.B. bei Rohren, 10 mm eingesetzt werden.
[4] Bei Auflagerbreiten, die zwischen den aufgeführten liegen, dürfen die charakteristischen Werte der Widerstandsgrößen linear interpoliert werden.
[5] Interaktion wie oben dargestellt. Sind keine Werte für $M^0_{B,k}$ und $R^0_{B,k}$ gegeben, gilt nur $\gamma_F \cdot M_{B,S,k} \le \max M_{B,k}/\gamma_M$ und $\gamma_F \cdot R_{B,S,k} \le \max R_{B,k}/\gamma_M$.
[6] L = kleinere der benachbarten Stützweiten. Sind keine Werte für Reststützmomente angegeben, ist beim Tragsicherheitsnachweis $M_{R,k}$ = 0 zu setzen oder ein Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch zu führen.

Literaturverzeichnis

a) Literatur

[1] Lohse, W.: Stahlbau 2, 20. Aufl., Teubner Verlag, Wiesbaden 2005

[2] Petersen C.: Stahlbau, 3. Aufl., Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1993

[3] Schneider K.-J., Goris A.: Bautabellen für Ingenieure, 18. Aufl., Werner Verlag, Köln 2008

[4] Seeßelberg, C.: Kranbahnen Bemessung und konstruktive Gestaltung, 3. Aufl., Bauwerk Verlag, Berlin 2009

b) Normen

[5] DIN 1055-1 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 06/2002

[6] DIN 1055-4 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten, Ausgabe 03/2005

[7] DIN 1055-5 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten, Ausgabe 07/2005

[8] DIN 1055-9 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen, Ausgabe 08/2003

[9] DIN 1055-10 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 10: Einwirkungen infolge Krane und Maschinen, Ausgabe 07/2004

[10] DIN 4132 Kranbahnen, Stahltragwerke, Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, Ausgabe 02/1981

[11] DIN 4132, Beiblatt 1 Kranbahnen, Stahltragwerke, Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, Erläuterungen, Ausgabe 02/1981

[12] DIN 15 018-1 Krane; Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung, Ausgabe 11/1984

[13] DIN 18 800-1 Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Ausgabe 11/2008

[14] DIN 18 800-2 Stahlbauten – Teil 2: Stabilitätsfälle – Knicken von Stäben und Stabwerken, Ausgabe 11/2008

[15] DIN 18 800-3 Stahlbauten – Teil 3: Stabilitätsfälle – Plattenbeulen, Ausgabe 11/2008

[16] DIN 18 807 Teil 3 Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung; Ausgabe 06/1987

[17] DIN EN 1993-6 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen, Ausgabe 12/2010

[18] DIN EN 1993-6/NA Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen, Ausgabe 12/2010

c) Software

[19] BEM 10 – Programm zur Berechnung von Kranbahnträger, Version 2.4, LSS Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH & Co.KG, Dortmund, www.lss.de

[20] RSTAB 5 – Statikprogramm zur Berechnung von ebenen und räumlichen Stabwerken, Version 5.14, Ing.-Software Dlubal GmbH, Tiefenbach, www.dlubal.de

Erklärung zur selbstständigen Anfertigung der Arbeit

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Mittweida,

…..... …....

Ort, Datum Peter Schneider